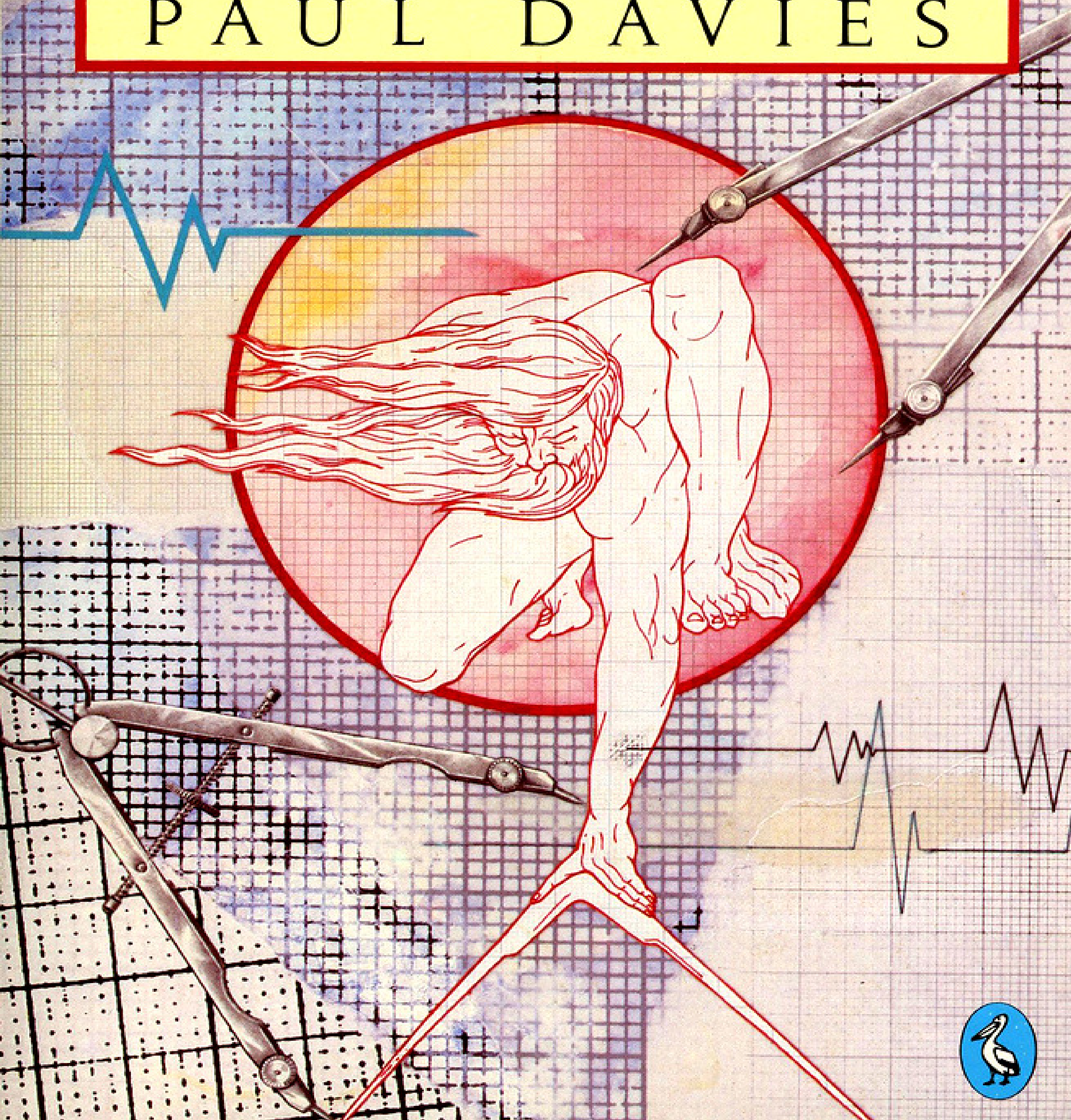
DIOS Y LA NUEVA FISICA

PAUL DAVIES



DIOS Y LA NUEVA FÍSICA

PAUL DAVIES

SALVAT

Versión española de la obra original inglesa *God and the new physics*, de Paul Davies
Traducción: Jordi Vilá
Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8922-2 (Volumen 42)
Depósito Legal: B-12585-1994
Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona
Impresa por Printer, i.g.s.a., Abril 1994
Printed in Spain

ÍNDICE

PREFACIO

Hace unos cincuenta años algo extraño ocurrió en la ciencia física. Nuevas ideas, extrañas y asombrosas, sobre el espacio y el tiempo, la mente y la materia, irrumpieron en la comunidad científica. Estas ideas no han empezado a llegar al público en general hasta ahora. Conceptos que han intrigado e inspirado a los físicos durante dos generaciones están por fin captando la atención del hombre de la calle, que nunca sospechó que hubiera tenido lugar una gran revolución en el pensamiento humano. La nueva física ha llegado a la mayoría de edad.

En el primer cuarto de este siglo se propusieron dos trascendentales teorías: la teoría de la relatividad y la teoría cuántica. De ellas arrancó la mayor parte de la física del siglo XX. Pero la nueva física pronto reveló un modelo mejor del mundo físico. Los físicos empezaron a darse cuenta de que sus descubrimientos exigirían una reformulación radical de la mayor parte de los aspectos fundamentales de la realidad. Aprendieron a enfocar sus temas de un modo totalmente nuevo e inesperado, que parecía alcanzar un elevado sentido común y acercarse más al misticismo que al materialismo.

Los frutos de esta revolución están empezando a ser recogidos por filósofos y teólogos. Muchas personas también, a la búsqueda de un significado más profundo sobre sus vidas, encuentran que sus creencias en cuanto al mundo que les rodea están en armonía con la nueva física. La nueva perspectiva de los físicos está incluso

despertando el interés de psicólogos y sociólogos, especialmente aquellos que preconizan un acercamiento holístico a sus temas.

En mis charlas y conferencias sobre la física moderna he percibido una creciente sensación de que la física fundamental está marcando el camino hacia una nueva valoración del hombre y su lugar en el Universo. Ciertas preguntas sobre la existencia —¿Cómo empezó el Universo y cómo acabará? ¿Qué es la materia? ¿Qué es la vida? ¿Qué es la mente?— no son nuevas. Lo que es nuevo es que podemos estar, por fin, a punto de encontrar una respuesta. Esta asombrosa perspectiva nace de algunos recientes avances espectaculares en la ciencia física —no sólo la nueva física— sino su pariente cercano, la cosmología.

Por primera vez una descripción unificada de toda la creación podría estar a nuestro alcance. Ningún otro problema es más fundamental o más desalentador que el enigma de cómo se creó el Universo. ¿Podría haber ocurrido sin ninguna fuerza sobrenatural? La física cuántica parece proporcionar un atisbo en cuanto al supuesto secular de que "no se puede sacar algo de la nada". Los físicos hablan ahora de un "Universo autocreador": un cosmos que nace espontáneamente, muy parecido a cuando una partícula subnuclear aparece a veces sin saberse de dónde en ciertos procesos de alta energía. Si los detalles de esta teoría son correctos o equivocados no es tan importante. Lo que importa es que ahora es posible concebir una explicación científica de toda la creación. ¿Es que la física moderna prescinde de Dios?

Este libro no trata de religiones. Trata del impacto de la nueva física sobre lo que anteriormente eran cuestiones religiosas. No es mi intención tratar sobre experiencias religiosas o aspectos morales. Ni tampoco es éste un libro científico. Es un libro sobre la ciencia y sus más amplias implicaciones. Inevitablemente, es necesario explicar de cuando en cuando aspectos técnicos detalladamente, pero no pretendo que las discusiones científicas sean sistemáticas o

completas. El lector no debe desanimarse ante la idea de verse envuelto en matemática complicada o en terminología especializada. He intentado evitar al máximo el lenguaje técnico.

Este libro va dirigido primordialmente al lector normal, ateo o creyente, sin previos conocimientos científicos. Sin embargo, espero que también contenga material de valor erudito. Particularmente, no creo que muchos de los trabajos recientes sobre cosmología hayan captado la atención de filósofos y teólogos.

El tema central del libro se refiere a lo que denomino las cuatro grandes preguntas sobre la existencia:

¿Por qué las leyes de la naturaleza son lo que son?
¿Por qué el Universo consiste en las cosas de que consiste?
¿Cómo surgieron estas cosas?
¿Cómo alcanzó el Universo su organización?

En la última parte del libro empiezan a emerger respuestas provisorias —respuestas basadas en el concepto que tiene el físico sobre la naturaleza. Las respuestas pueden ser totalmente erróneas, pero no creo que la física esté singularmente situada para proporcionarlas. Puede parecer extraño, pero, en mi opinión, la ciencia ofrece un camino más seguro hacia Dios que la religión. Correcta o equivocadamente, el hecho de que la ciencia haya avanzado en realidad hasta el punto de que puede abordar seriamente cuestiones consideradas con anterioridad como religiosas, indica por sí mismo las posibles consecuencias trascendentales de la nueva física.

Aunque he intentado dejar al margen mis creencias religiosas, mi presentación de la física es inevitablemente muy personal. Sin duda, muchos de mis colegas no estarían de acuerdo con las conclusiones a las que intento llegar. Es ésta una percepción personal del Universo; hay muchas otras. Mi motivación al escribir

este libro proviene de que estoy convencido de que hay más en el mundo que lo que se muestra ante nuestros ojos.

A G R A D E C I M I E N T O S

Quisiera expresar mi especial agradecimiento al Dr. John Barrow, de la Universidad de Sussex, cuyos comentarios detallados han enriquecido en gran manera la presentación de este libro. El tema ha provocado también animadas discusiones en mi departamento, y mis conversaciones con el Dr. Stephen Bedding, Mr. Kerry Hinton, el Dr. J. Pfautsch, el Dr. Stephen Unwin y Mr. William Walker fueron muy fructíferas.

El autor y los editores desean mostrar su agradecimiento a: Faber and Faber Ltd, por el permiso a citar de "The Expanding Universe" de Norman Nicholson en The Pot Geranium; Harvester Press Ltd, por el permiso a citar de Gódel, Escher, Bach de D. R. Hofstadter y The Mind's I de D. R. Hofstadter y D. C. Dennett; Methuen London Ltd, por el permiso a citar de Summa Theologiae, Vol. I: Chrístian Theohgy de Sto. Tomás de Aquino, editado por Thomas Gilby; Richard P. Feynman, por citar de su libro The Character of Physical Law; Pergamon Press Ltd, por el permiso a citar de Sir Hermán Bondi, "Religión is a good thing" en Living Truths, editado por Ronald Duncan y Miranda Weston-Smith.

NOTA SOBRE TERMINOLOGÍA TÉCNICA

Un billón significa en castellano un millón de millones. Sin embargo, en inglés, la palabra "billion", que traducimos en este libro también por "billón", significa mil millones. Ocasionalmente es conveniente el uso de la notación abreviada "potencias de diez" para números muy grandes o muy pequeños. Por ejemplo, 106 denota un millón, 109, mil millones (en este libro, un billón), 10~6 una millonésima, "10'9, una milmillonésima (aquí una billonésima).

I. CIENCIA Y RELIGIÓN EN UN MUNDO CAMBIANTE

«El hombre sabio rige su conducta por las teorías tanto de la religión como de la ciencia.»
J.B.S. HALDANE

«Pero puesto que me ha sido impuesto por este Santo Oficio que debo abandonar la falsa opinión de que el sol es el centro del mundo y no se mueve, y que la Tierra no es el centro del mundo y se mueve, y que se me ha prohibido sostener, defender o enseñar en modo alguno la falsa doctrina mencionada... abjuro, maldigo y aborrezco los susodichos errores y herejías y en general cualquier otro error, herejía y secta contraria a la Santa Iglesia...»
GALILEO GALILEI

La ciencia y la religión constituyen dos grandes sistemas de pensamiento humano. Para la mayoría de los habitantes de nuestro planeta la religión es la influencia predominante en la conducta.

Cuando la ciencia influye en su vida, no lo hace tanto en el plano intelectual como en el práctico, a través de la tecnología.

A pesar del poder del pensamiento religioso en la vida cotidiana, la mayoría de nuestras instituciones relegan la religión a un segundo plano. Esta es, por ejemplo, la posición constitucional de la Iglesia en Inglaterra. Existen excepciones. Irlanda e Israel siendo Estados religiosos en el sentido legal, mientras que el resurgimiento del Islam militante está aumentando la influencia de la religión en la toma de decisiones políticas y sociales en algunos países árabes.

En cambio, en el mundo industrializado, donde el impacto y el éxito de la ciencia son más notables, se ha producido un agudo descenso en el número de seguidores de la mayoría de las religiones tradicionales. En Gran Bretaña, sólo un reducidísimo porcentaje de la población acude regularmente a los servicios religiosos. Sin embargo, sería un error concluir que el descenso en la asistencia a las iglesias es directamente atribuible al ascenso de la influencia de la ciencia y la tecnología en nuestra sociedad. En su vida privada, muchas personas mantienen todavía profundas creencias acerca del mundo que pueden ser consideradas como religiosas, aunque hayan rechazado, o como mínimo ignorado, la doctrina cristiana tradicional. Cualquier científico sabe que si la religión ha sido desplazada de la conciencia de la gente, ciertamente no ha sido reemplazada por el pensamiento científico racional. La ciencia, a pesar del gran impacto que ejerce en nuestras vidas a nivel práctico, sigue siendo, en general, algo inaccesible para la mayoría de la gente.

De gran influencia en el descenso de la religión ha sido el hecho de que la ciencia, gracias a la tecnología, ha alterado nuestras

vidas de una manera tan radical que las religiones tradicionales no parecen proporcionar una ayuda real para enfrentamos a las necesidades urgentes derivadas de los problemas personales y sociales contemporáneos. Si la Iglesia en nuestros días es ignorada por muchos, no es debido a que la ciencia haya ganado la batalla a la religión, sino a que ha reorientado a la sociedad tan radicalmente que la perspectiva bíblica del mundo nos parece en la actualidad algo fuera de lugar.

Las religiones más importantes del mundo, basadas en dogmas y en la sabiduría revelada, están enraizadas en el pasado y no se adaptan fácilmente a los nuevos tiempos. Una cierta flexibilidad asumida apresuradamente ha permitido incorporar al cristianismo algunas de las nuevas características del pensamiento moderno, hasta el punto que los líderes actuales de la Iglesia parecerían heréticos a un victoriano; de todos modos, cualquier filosofía basada en conceptos anticuados que pretenda adaptarse a la era espacial se enfrenta con una ardua tarea. En consecuencia, muchos creyentes desilusionados han puesto sus esperanzas en las llamadas "religiones marginales", que parecen estar más a tono con la era de la guerra de las galaxias y el microchip. El aumento impresionante de popularidad de cultos asociados con los OVNI, la percepción extrasensorial, el espiritismo, la cienciología, la meditación trascendental y las creencias pseudocientíficas, es un buen testimonio de la incidencia que todavía tienen la fe y los dogmas en una sociedad superficialmente racional y científica. Aunque muchas de estas creencias tengan un barniz científico, son desvergonzadamente irracionales, "cultos de la sinrazón", como las llama Christopher Evans en su libro del mismo título. La gente se entrega a ellas no tanto para obtener enriquecimiento intelectual, sino en búsqueda de un poco de bienestar espiritual dentro de este mundo duro e incierto en que vivimos.

La ciencia ha invadido nuestras vidas, nuestro lenguaje y nuestras religiones, pero no en el plano intelectual. La inmensa mayoría de la gente no entiende los principios científicos ni está interesada en entenderlos. La ciencia, para muchos, sigue siendo cosa de brujas... y sus practicantes son vistos con una mezcla de desconfianza temor. Basta con echar una ojeada a cualquier librería. Los libros científicos se encuentran en el estante de las "ciencias ocultas" y los libros de texto de astronomía modernos comparten las estanterías con títulos como El triángulo de las Bermudas o Los carros de los Dioses. Nadie duda de la importancia de la ciencia y el pensamiento racional en nuestra sociedad, pero en lo personal, la mayoría de la gente todavía encuentra las doctrinas religiosas más persuasivas que los argumentos científicos.

Vivimos en un mundo que fundamentalmente, y a pesar de las apariencias, es todavía religioso. Desde países como Irán o Arabia donde el Islam es la fuerza social dominante, hasta nuestro mundo occidental industrializado, se sigue buscando el significado de la vida a través de la religión. Los científicos también buscan un significado y en ocasiones, cuando hacen descubrimientos acerca de la estructura y el funcionamiento del Universo o sobre la naturaleza de la vida y la conciencia, proporcionan los fundamentos sobre los que estructurar una religión. Discutir sobre si la Creación tuvo lugar 4.004 años a.C. ó 10.000 años a.C. no tiene ningún sentido si las investigaciones científicas revelan que la Tierra tiene una edad de cuatro mil quinientos millones de años. Una religión que esté basada en hipótesis que la ciencia pueda refutar no sobrevivirá durante mucho tiempo.

A lo largo de esta obra discutiremos algunos de los descubrimientos científicos más recientes y estudiaremos las consecuencias que tienen para la religión. En muchos casos, las viejas ideas religiosas no son refutadas sino trascendidas por la ciencia moderna. Mirando el mundo bajo un ángulo distinto, los

científicos pueden proporcionar nuevas ideas y nuevas perspectivas sobre el hombre y el lugar que ocupa en el Universo.

Tanto la ciencia como la religión presentan dos caras: la intelectual y la social. En ambos casos, los efectos sociales dejan mucho que desear. La ciencia ha mejorado la calidad de nuestra vida al librarnos de muchas enfermedades y del trabajo pesado y al proporcionamos un conjunto de aparatos para nuestra comodidad y entretenimiento. Sin embargo, también ha engendrado armas terroríficas que pueden provocar nuestra destrucción masiva y ha degradado seriamente el medio ambiente. El impacto de la ciencia en la sociedad industrial ha producido efectos contrapuestos.

Por su parte, la religión organizada parece tener, en todo caso, peores consecuencias. Nadie pone en duda la existencia de casos individuales de devoción desinteresada por parte de personas pertenecientes a distintas comunidades religiosas. Sin embargo, desde que la religión se institucionalizó, se ha preocupado más del poder y la política que del bien y del mal. Demasiado a menudo hemos visto como el celo religioso ha conducido a luchas violentas, pervirtiendo el comportamiento normal del hombre y dando rienda suelta a bárbaras crueldades. El genocidio de la población nativa de América del Sur a cargo de los cristianos es uno de los ejemplos más espantosos, pero la historia de Europa en general se encuentra repleta de cadáveres de hombres y mujeres muertos a causa de diferencias religiosas. En nuestra misma era presumiblemente ilustrada, el odio religioso sigue produciendo choques en diversas partes del mundo. Es ciertamente paradójico que, si bien la mayor parte de las religiones exaltan las virtudes del amor, la paz y la humildad, son demasiado a menudo el odio, la guerra y la arrogancia lo que caracteriza la historia de las organizaciones religiosas del mundo.

Muchos científicos se muestran críticos frente a las organizaciones religiosas, no tanto a causa de su contenido

espiritual sino debido a su influencia perniciosa sobre el comportamiento instintivamente noble de los seres humanos, especialmente cuando estas organizaciones se ven comprometidas en la lucha por el poder político. El físico Hermann Bondi se muestra muy duro con la religión, a la que considera un "vicio pernicioso". Cita como ejemplo los excesos cometidos en Europa durante la quema de brujas:

En gran parte de la Europa cristiana el temor de Dios se usó para quemar ancianas acusadas de brujería, un arduo deber que parecía venir impuesto claramente por la Biblia. Los hechos sobre la quema de brujas son suficientemente explícitos. En primer lugar, la fe hizo cometer a personas decentes actos de una brutalidad espeluznante, mostrando como los sentimientos humanos naturales de bondad y repulsión ante la crueldad pueden ser y han sido anulados por las creencias religiosas. En segundo lugar, demuestra que es completamente falsa la afirmación de que la religión tiene una base moral absoluta e inmutable.

Según Bondi, el poder despiadado ejercido por la Iglesia y otras instituciones religiosas a lo largo de los siglos sitúa a estas organizaciones en bancarrota moral.

Es difícil negar que la religión siga siendo, con todas sus pretensiones, una de las fuerzas más disgregadoras de la sociedad.

Sean cuales fueren las buenas intenciones del creyente, la historia ensangrentada de las luchas religiosas da pocas pruebas de la existencia de normas de moralidad universal entre la mayoría de las religiones organizadas. Por otro lado, tampoco existe ninguna razón para creer que el amor y la consideración sean patrimonio exclusivo de las religiones y que no puedan encontrarse en personas que no pertenezcan a estéis organizaciones o que incluso se declaren decididamente ateas.

Por descontado que no todas las personas religiosas son fanáticos. Hoy en día, la inmensa mayoría de los cristianos comparten un sentimiento de repulsa frente a las luchas religiosas y deploran el pasado de la Iglesia y sus implicaciones con torturas, asesinatos y represión. Pero las espectaculares olas de violencia y brutalidad en nombre de Dios que todavía asolan nuestra sociedad no son las únicas manifestaciones de la cara antisocial de la religión. La segregación en la educación e incluso en la residencia sigue vigente en países supuestamente civilizados como Irlanda del Norte y Chipre. Incluso entre sus propios seguidores, las organizaciones religiosas exaltan a menudo los prejuicios, ya sea contra las mujeres, las minorías raciales, los homosexuales o cualquiera a quien sus líderes hayan decidido calificar de ser inferior. La situación de las mujeres en el Islam y en la Iglesia Católica o la de los negros en la Iglesia de Sudáfrica son una clara muestra de ello. Aunque muchas personas se escandalizarían si se calificara a su propia religión de viciosa o intolerante, estarían rápidamente de acuerdo en que las otras religiones del mundo tienen mucho de que responder.

Esta triste historia de intolerancia parece ser un resultado inevitable de la institucionalización y constitucionalización de las organizaciones religiosas y ha inspirado un enorme descontento contra las religiones establecidas en el mundo occidental. Muchos se entregan a las llamadas religiones "marginales" en un intento de encontrar un camino menos estridente y más moderado hacia la plenitud espiritual. Existe, desde luego, una amplia gama de nuevos movimientos que son todavía más intolerantes y siniestros que las religiones tradicionales. Sin embargo, hay otros muchos que subrayan la importancia del misticismo y la vida interior, en oposición al fervor evangélico y, de esta manera, atraen a aquellas personas que mantienen una actitud crítica frente al impacto político y social de las religiones establecidas.

Ya se ha dicho bastante sobre el lado social de la religión. ¿Qué se puede decir de su contenido intelectual?

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, el hombre y la mujer han buscado en la religión no solamente una guía moral, sino también respuestas a las preguntas fundamentales sobre la existencia. Por ejemplo, ¿cómo fue creado el Universo y cómo acabará? ¿Cuál es el origen de la vida y de la humanidad? Únicamente en los últimos siglos ha empezado la ciencia a aportar su propia contribución a estos temas. Las grandes controversias son de todos conocidas. Empezando con Galileo, Copérnico y Newton, pasando por Darwin y Einstein hasta llegar a la era de los computadores y la alta tecnología, la ciencia moderna ha arrojado una fría y a veces amenazadora luz sobre muchas de las profundamente enraizadas creencias religiosas. En consecuencia, ha ido creciendo la impresión de que ciencia y religión son intrínsecamente incompatibles y antagónicas. Es una creencia confirmada por la historia. Los primeros intentos de la Iglesia de contener las compuertas del avance científico han dejado en la comunidad científica un legado de desconfianza y recelo hacia la religión. Por su parte, los científicos son considerados por muchos como los demoledores de la fe, puesto que han derribado un gran número de dogmas religiosos.

Sin embargo, no existe ninguna duda acerca del éxito del método científico. La física, reina de las ciencias, ha descubierto nuevos panoramas del conocimiento que eran totalmente insospechados unos cuantos siglos atrás. De los misterios ocultos del átomo al extraño surrealismo de los agujeros negros, la física nos ha permitido comprender algunos de los más oscuros secretos de la naturaleza nos ha dado los medios de ejercer control sobre muchos sistemas físicos de nuestro entorno. La tremenda potencia del razonamiento científico se demuestra a diario en las múltiples

maravillas de la moderna tecnología. Parece, pues, razonable confiar en el punto de vista del científico.

El científico y el teólogo enfocan las profundas cuestiones de la existencia desde puntos completamente distintos. La ciencia se basa en la observación cuidadosa y en el experimento, construyendo teorías que conecten los diversos experimentos entre sí. La ciencia busca regularidades en la naturaleza para descubrir las leyes que gobiernan el comportamiento de las fuerzas y de la materia. Un hecho básico dentro de este punto de vista es la predisposición del científico a abandonar una teoría si hay datos en contra de la misma. . Aunque algunos científicos ocasionalmente puedan aferrarse tenazmente a alguna idea querida, la comunidad científica como grupo siempre está dispuesta a adoptar un nuevo criterio. La discusión de los principios científicos no ocasiona ninguna guerra cruenta.

En contraste, la religión se basa en la revelación y la sabiduría recibida. Los dogmas religiosos que pretenden contener una verdad inalterable no podrán modificarse para adaptarse a las ideas cambiantes. El verdadero creyente debe mantener su fe por numerosos que sean los indicios aparentes en contra de la misma. Esta "verdad" se dice que ha sido comunicada directamente al creyente; éste la encuentra a través del proceso de filtrado y refinamiento propio de la investigación colectiva. El problema que plantea la "verdad" revelada es que es susceptible de ser falsa, y aun en el caso de ser cierta las demás personas están perfectamente en su derecho de exigir una buena razón para creer en ella.

Muchos científicos se mofan de la verdad revelada. Algunos sostienen incluso que es un auténtico mal:

Generalmente, la mentalidad del creyente frente a la revelación es tremendamente arrogante. El creyente dice «Creo, y todos aquellos que no estén de acuerdo conmigo están equivocados». En ningún otro campo esta

arrogancia se encuentra tan extendida, en ningún otro campo la gente se encuentra tan absolutamente segura de su "conocimiento". Me disgusta profundamente que alguien se sienta tan superior, tan escogido en contra de todas aquellas personas que difieren de él en lo que creen y en lo que no creen. Esto por sí solo ya sería suficientemente malo, pero es que además muchos creyentes ponen todo su empeño en divulgar su fe, como mínimo a sus propios hijos y a menudo también a los demás (hay, desde luego, multitud de ejemplos históricos de cómo esto se ha llevado a cabo por la fuerza con despiadada brutalidad). Lo que está muy claro es que personas de la mayor sinceridad y de todos los niveles de inteligencia disienten y han disentido siempre en sus creencias religiosas. Dado que, como mucho, puede ser verdadera una fe, se deduce que los seres humanos son extremadamente propensos a creer firme y honestamente algo no verdadero en el campo de la religión revelada. Cabría esperar que este hecho evidente despertara alguna humildad y llevara a pensar que, por muy profunda que sea la fe de una persona, es concebible que pueda estar equivocada. Nada está más lejos del ánimo del creyente, de cualquier creyente, que esta humildad elemental. En su área de influencia (que en nuestros días en un país desarrollado suele estar limitada a los propios hijos) intenta imponer su fe a los demás. En muchos casos los niños son efectivamente adoctrinados en el vergonzoso sentimiento de que pertenecen a un grupo con un nivel de conocimiento superior que dispone de línea directa con el Todopoderoso, siendo todos los demás menos afortunados que ellos mismos.

Sin embargo, aquellos que han tenido experiencias religiosas consideran invariablemente que su propia revelación personal tiene más garantías de verdad que cualquier número de experimentos científicos. De hecho, muchos científicos profesionales son también profundamente religiosos y tienen aparentemente poca dificultad intelectual en permitir que coexistan pacíficamente los dos lados de su filosofía. El problema está en cómo traducir las múltiples experiencias religiosas dispares en una concepción religiosa del

mundo que sea coherente. La cosmología cristiana, por ejemplo, se ha diferenciado radicalmente de la cosmología oriental. Por lo menos una de ellas debe ser falsa.

Es un gran error concluir de su incredulidad hacia la verdad revelada que el científico es un individuo frío, duro, calculador y desalmado, interesado solamente en hechos y números. En realidad, el desarrollo de la física moderna se ha visto acompañado por un tremendo aumento del interés por las profundas implicaciones filosóficas de la ciencia. Es ésta una faceta poco conocida de la empresa científica que a menudo produce una sorpresa total. El patólogo, escritor y productor de televisión Kit Pedlar describe el asombro que le produjo descubrir, cuando preparaba una serie de televisión sobre la mente y los fenómenos paranormales, la inquietud que sienten los físicos modernos ante un buen número de cuestiones:

Durante casi veinte años he ocupado mi tiempo de investigación como un feliz biólogo reduccionista, creyendo que mi investigación cuidadosa podría a la larga revelar verdades definitivas. Entonces empecé a leer libros sobre la nueva física. La experiencia fue demoledora. Como biólogo suponía que los físicos eran hombres y mujeres fríos y poco emocionales que observaban la naturaleza desde un punto de vista clínico y cerebral, gente que reducía una puesta de Sol a longitudes de onda y a frecuencias y observadores que desmenuzaban la complejidad del Universo en elementos rígidos y formales. Estaba totalmente equivocado. Empecé a estudiar los trabajos de personas con apellidos legendarios: Einstein, Bohr, Schrödinger y Dirac. Descubrí que no eran hombres cerebrales, sino personas poéticas y religiosas capaces de imaginar tales inmensidades que a su lado lo que antes he llamado "paranormal" era algo casi vulgar.

No deja de ser irónico que la física, que ha abierto el camino a las demás ciencias, se esté desplazando hacia puntos de vista más

flexibles, mientras que las ciencias de la vida, siguiendo los pasos de la física del siglo pasado, están intentando abolir la mente por completo. El psicólogo Harold Morovitz ha señalado sobre esta curiosa inversión:

Lo que ocurre es que los biólogos, que una vez postularon el papel privilegiado de la mente humana en la jerarquía de la naturaleza, se han ido desplazando inexorablemente hacia las posiciones materialistas que caracterizaron la física del siglo diecinueve. Al mismo tiempo, los físicos, confrontados con los datos de irrefutables pruebas experimentales, se han alejado de los modelos del mundo estrictamente mecanicistas, acercándose a posiciones donde la mente juega un papel integral en todos los fenómenos físicos. Es como si las dos disciplinas viajaran en dos trenes que se mueven en sentidos opuestas e ignoraran lo que ocurre en la otra vía.

En los capítulos siguientes veremos como la nueva física ha otorgado al "observador" un papel central en la naturaleza de la realidad física. Un número creciente de personas creen que los recientes avances en las ciencias fundamentales tienen más posibilidades de revelar el significado profundo de la existencia que la religión tradicional. En cualquier caso, la religión no se puede permitir el lujo de ignorar estos avances.

II. GÉNESIS

«En el principio Dios creó el Cielo y la Tierra»
GÉNESIS 1:1

«Pero nadie estaba allí para verlo.»
STEVEN WEINBERG
(Los tres primeros minutos del Universo)

¿Hubo una creación? De ser así, ¿cuándo tuvo lugar y cuál fue su causa? Nada es más profundo o más desconcertante que el enigma de la existencia. La mayoría de las religiones tienen algo que decir acerca del origen de las cosas, pero la ciencia moderna tiene también su punto de vista. En este libro hablaré del enigma del génesis a la luz de los más recientes hallazgos cosmológicos y en este capítulo me ocuparé del Universo como un todo. Usaré el término "Universo" en el sentido de "todas las cosas físicas que existen", es decir, toda la materia distribuida en y entre las galaxias, todas las formas de energía, todas las cosas no materiales tales como los agujeros negros y las ondas gravitacionales, y asimismo todo el espacio que se extiende (si es que en realidad ocurre así) hasta el infinito. Algunas veces usaré también las palabras "mundo" o "mundo físico" para expresar el mismo concepto.

Cualquier sistema conceptual que se considere en condiciones de proporcionar una comprensión del Universo debe dar alguna explicación de su origen. En una primera aproximación, la elección parece clara: O bien el Universo ha existido siempre (de una u otra forma) o bien todo empezó, más o menos abruptamente, en un instante particular del pasado. Ambas alternativas han sido durante largo tiempo motivo de perplejidad para teólogos, filósofos y científicos, y las dos presentan dificultades evidentes para el profano.

Si el Universo no tuvo un origen en el tiempo, es decir, si ha existido siempre, entonces tiene una edad infinita. El concepto de infinito hace vacilar a mucha gente. Si ya han ocurrido un número infinito de sucesos hasta ahora, ¿por qué ha aparecido la vida precisamente en este momento? ¿Ha permanecido el Universo en reposo durante toda una eternidad sólo para ponerse en acción en una fecha relativamente reciente o, por el contrario, ha habido siempre algún tipo de actividad?

Por otro lado, aceptar un *comienzo* del Universo implica admitir que ha surgido de repente de la nada. Esto parece implicar que hubo un primer acontecimiento. Si es así, ¿qué lo causó? ¿Tiene siquiera sentido plantearse tal pregunta?

Muchos pensadores esquivan estas cuestiones y se vuelven hacia la evidencia científica. ¿Qué puede decimos la ciencia acerca del origen del Universo?

En nuestros días, la mayoría de los cosmólogos y astrónomos respaldan la teoría de que, efectivamente, hubo una creación hace unos dieciocho mil millones de años, cuando el Universo físico irrumpió con una impresionante explosión conocida popularmente como el *Big Bang* (en inglés "Gran Explosión"). Hay muchos datos a favor de esta asombrosa teoría.

Desde el punto de vista científico, la hipótesis esencial de que hubo alguna clase de creación parece irrefutable (se acepten o no los detalles). Las razones proceden directamente de la más universal de las leyes físicas: el segundo principio de la termodinámica. En su interpretación más general, esta ley establece que cada día el Universo se hace más desordenado. Hay una especie de descuido gradual pero inexorable hacia el caos. Se encuentran ejemplos del segundo principio en todas partes: los edificios se derrumban, la gente envejece, las montañas y las costas se erosionan, los recursos naturales se agotan.

Si toda actividad natural produce más desorden (cuando se mide de un modo apropiado), entonces el mundo debe cambiar *irreversiblemente,* puesto que para restituir el Universo a las condiciones pasadas es preciso reducir de algún modo el desorden a su nivel anterior, el cual contradice el segundo principio. Sin embargo, a primera vista parece que existan muchos contraejemplos a esta ley. Se levantan nuevos edificios, se desarrollan nuevas estructuras. ¿No es acaso cada recién

nacido un ejemplo de orden surgiendo del desorden?

En estos casos tenemos que aseguramos de que estamos observando el sistema total y no meramente la parte del mismo que es objeto de nuestro interés. La concentración de orden en una región del Universo siempre se compensa mediante un incremento de desorden en alguna otra parte. Por ejemplo, consideremos el caso de la construcción de un nuevo edificio. Los materiales empleados contribuyen inevitablemente a agotar los recursos naturales del mundo, y la energía consumida en el proceso de construcción se pierde irremediablemente. Cuando se establece un balance completo, el desorden siempre gana.

Los físicos han inventado una magnitud matemática, la entropía, para cuantificar el desorden. Numerosos experimentos realizados cuidadosamente han verificado que la entropía total de un sistema nunca decrece. Cualquier cambio que se produzca dentro de un sistema aislado elevará inexorablemente la entropía hasta un valor máximo. Cuando este valor se alcance, no habrá ningún cambio posterior, el sistema habrá alcanzado una situación de equilibrio termodinámico. Una caja que contenga una mezcla de productos químicos nos proporciona un buen ejemplo. Las sustancias químicas reaccionan, liberan calor, se altera su estructura molecular, etc. Todos estos cambios aumentan la entropía dentro de la caja. Finamente, el contenido de la misma se estabiliza en su forma química final a una temperatura uniforme y no se produce ningún otro cambio.

Devolver el contenido a su estado original no es imposible, pero conllevaría abrir la caja y consumir energía y materia para Invertir los cambios que hubieran tenido lugar. Esta manipulación introducir la entropía suficiente como para compensar el descenso de entropía en el interior de la caja.

Si el Universo tiene una cantidad finita de orden y se mueve irreversiblemente hacia el desorden, hacia el equilibrio

termodinámico, podemos obtener dos profundas consecuencias. La primera es que el Universo morirá finalmente, víctima de su propia entropía (esto es lo que los físicos llaman "muerte térmica" del Universo). La segunda es que el Universo no puede haber existido desde siempre, pues de no ser así hubiera alcanzado hace mucho tiempo su estado de equilibrio final.

Conclusión: El Universo no ha existido siempre.

En todos los sistemas familiares que se encuentran a nuestro alrededor vemos en acción al segundo principio de la termodinámica. La Tierra, por ejemplo, no puede haber existido desde siempre, pues de lo contrario su interior se habría enfriado completamente.

Por medio de estudios radiactivos se puede establecer la edad de la Tierra en cerca de cuatro mil quinientos millones de años, edad similar a la de la Luna y a la de varios meteoritos.

En cuanto al Sol, es claro que no puede continuar ardiendo eternamente. Año tras año sus reservas de combustible se reducen, de manera que algún día se enfriará y se apagará. Por la misma razón, sus llamas debieron encenderse hace un cierto tiempo: El Sol no tiene fuentes ilimitadas de energía. Según algunas estimaciones, la edad del Sol es un poco mayor que la de la Tierra, lo cual está de acuerdo con las teorías astronómicas más comunes según las cuales el Sistema Solar se formó como un solo ente. No obstante, el Sistema Solar es una pequeñísima porción del Universo y sería arriesgado aventurar conclusiones a partir de consideraciones sobre la Tierra y el Sol únicamente.

De todos modos, el Sol es una estrella típica, y, por otro lado, nuestra galaxia contiene muchos millones de otras estrellas cuyos ciclos vitales pueden ser estudiados por los astrónomos. Existen estrellas en diversas fases de su evolución que nos permiten construir un modelo detallado del nacimiento, vida y muerte de las mismas.

Las estrellas y los planetas proceden de la concentración y fragmentación gradual de enormes y tenues nubes de gas interestelar constituido principalmente de hidrógeno. Es fácil encontrar regiones en nuestra galaxia donde están naciendo nuevas estrellas. Una de ellas, la Gran Nebulosa de Orión, es visible a simple vista. Las estrellas no se formaron todas a la vez.

Nuestro Sol, por ejemplo, con una edad de cerca de cinco mil millones de años, tiene como mucho la mitad de la edad de la más vieja de las estrellas de nuestra galaxia. La formación del Sistema Solar ha sido el resultado de un proceso continuado que, solamente en la Vía Láctea, ha ocurrido miles de millones de veces y que proseguirá en el futuro. Así, en lo que a la formación de estrellas y planetas se refiere, no hubo realmente una creación, sino una especie de cadena de montaje cósmica que convirtió la materia prima original -hidrógeno, helio y una minúscula parte de elementos más pesados- en estrellas y planetas.

Puesto que las estrellas se queman constantemente y surgen otras para reemplazarlas, cabe preguntarse si este ciclo de nacimiento-muerte ha estado produciéndose indefinidamente. El segundo principio de la termodinámica afirma que no es posible. Los materiales de combustión de las estrellas no pueden ser recicladas completamente. La energía que se necesitaría se disipa hacia el espacio exterior en forma de luz estelar radiada a lo largo de los eones. Por otro lado, una parte del material estelar se pierde irremediablemente en los agujeros negros.

Existe, sin embargo, una razón más directa para creer que el sistema cósmico no ha estado reciclándose durante toda una eternidad. Isaac Newton, uno de los padres de la ciencia moderna, estableció que la gravedad es una fuerza universal que actúa entre todos los cuerpos materiales. Cada estrella, cada

galaxia, atrae a cada una de las demás con una fuerza gravitacional. Debido a que todos los cuerpos astronómicos flotan libremente en el espacio, no parece existir ninguna razón por la que éstos no se precipiten unos encima de otros como resultado de esta fuerza gravitatoria. En el Sistema Solar, el desplome gravitacional de los planetas hacia el Sol se evita debido a la fuerza centrífuga: los planetas giran alrededor del Sol. Asimismo, la Galaxia también gira. Claramente las galaxias no pueden haber estado allí fijas desde siempre. Así, el Universo no siempre habrá gozado de su disposición actual.

Aunque este acertijo cósmico estaba planteado desde la época de Newton, no fue hasta la década de los años veinte cuando se descubrió la solución. El astrónomo americano Edwin Hubble descubrió que las galaxias no se aproximan, sino que, por el contrario, se alejan a toda velocidad. Hubble se dio cuenta de que el color de la luz galáctica se distorsiona ligeramente ("se desplaza hacia el rojo" para usar el lenguaje técnico), circunstancia que sugiere una rápida recesión. La razón es que la luz está constituida por ondas, de manera que una fuente de luz en movimiento puede estirar o comprimir las ondas, del mismo modo que un vehículo en movimiento expande o comprime las ondas sonoras que emite. El tono del ruido de un motor de automóvil o el del silbato de un tren descienden espectacularmente cuando éstos se alejan de nosotros. En el caso de la luz, léase "color" en lugar de "tono" y se tendrá el corrimiento hacia el rojo de Hubble. Las velocidades en juego, sin embargo, son mucho mayores. Las galaxias distantes se alejan a velocidades de muchos kilómetros por segundo.

El descubrimiento de Hubble se interpreta en ocasiones erróneamente, como si nuestra galaxia ocupara el centro de esta impetuosa carrera y las restantes se alejaran de nuestra posición. Esto no es .así. Dado que las galaxias más distantes se alejan más

deprisa que las más cercanas, las separaciones entre las galaxias también se hacen más grandes, de manera que, de hecho, cada galaxia se está alejando de todas las demás. Este es el famoso "Universo en expansión". La dispersión galáctica parecería muy semejante desde cualquier otro lugar del cosmos.

El Universo en expansión concuerda muy bien con las ideas modernas acerca de la naturaleza del espacio, del tiempo y del movimiento. Albert Einstein, que goza entre la comunidad científica del mismo prestigio que San Pablo entre los cristianos, revolucionó nuestra concepción sobre estos temas con su genial teoría de la relatividad. Aunque durante más de sesenta años sus ideas han chocado con la imaginación popular, los físicos hace ya mucho tiempo que aceptan el concepto de espacio-tiempo curvo como una explicación de la gravedad.

La fuerza de la gravedad rige todos los fenómenos cósmicos a gran escala. En los objetos de tamaño astronómico, la gravedad supera a las demás fuerzas, como el magnetismo y la electricidad. La gravedad moldea las galaxias y controla los movimientos intergalácticos. Cuando se pretende explicar el Universo en expansión hay que recurrir necesariamente a la gravedad.

Einstein argumentó convincentemente que la gravedad deforma o distorsiona el espacio y el tiempo. Esta idea se puede comprobar directamente observando la desviación gravitacional que experimentan los rayos de luz estelar que rozan la superficie del Sol. En un eclipse solar podemos ver estrellas que en realidad deberían estar ocultas por el disco del Sol. Como veremos en el capítulo 9, la elasticidad del tiempo se puede demostrar más directamente enviando relojes al espacio. De acuerdo con la teoría de la relatividad general, los relojes en la superficie de la Tierra deben retrasarse respecto a los relojes situados en un entorno donde la gravedad es inferior.

Si el Sol puede deformar el espacio también puede hacerlo la galaxia, que está constituida de muchos soles. Así, en lugar de decir que las galaxias se alejan a *través* del espacio, los astrónomos prefieren pensar que es el espacio entre ellas lo que se ensancha. Si es el espacio intergaláctico el que se "hincha", entonces cada galaxia dispone cada vez de más espacio. De esta manera el Universo se expande, sin que tenga que hacerlo necesariamente *hacia* algún vacío exterior.

Dejando aparte por ahora los conceptos de espacio y tiempo elásticos, que para muchos son de difícil comprensión, es evidente que un Universo que aumente de tamaño ha debido ser más pequeño en el pasado. Si el presente ritmo de expansión se ha mantenido a lo largo de la historia, entonces hace veinte o treinta mil millones de años todo el Universo observable estuvo comprimido en un punto indistinguible sin ningún objeto astronómico identificable. En realidad, los astrónomos han descubierto que el ritmo de expansión está de alguna manera decreciendo, de forma que esta condición de alta compresión tuvo lugar, de hecho, en una época más reciente, quizá quince o veinte mil millones de años atrás (compárese con los cinco mil millones de años de la edad del Sol). Debido <i que el ritmo de expansión fue mucho más rápido entonces, los primeros períodos de la dispersión galáctica recuerdan más una explosión que una expansión lenta.

Se dice algunas veces que el Universo tal como lo conocemos se creó con la explosión de un "huevo" primitivo y que las galaxias son fragmentos de la explosión que todavía corren a través del espacio. Es una imagen que capta algunas características correctas pero que es engañosa. Sea lo que fuese lo que explotó, estaba comprimido porque el espacio mismo estaba comprimido. Es erróneo pensar en términos de un "huevo" rodeado del vacío. Un huevo tiene una superficie y un

centro. Los astrónomos creen, sin embargo, que el Universo no tiene borde alguno ni tampoco un centro privilegiado.

Nos enfrentamos aquí con el delicado tema del infinito, tema lleno de escollos para los no especialistas. En vista de su importancia no sólo para el Universo en expansión sino también para problemas más amplios de la ciencia y la religión, merece la pena una corta digresión en este punto.

Los científicos han reconocido durante largo tiempo la necesidad de basar todas sus consideraciones acerca del infinito en formulaciones matemáticas precisas, puesto que el tratamiento del infinito puede dar lugar a todo tipo de paradojas. Considérese, por ejemplo, la famosa paradoja de "Aquiles y la tortuga" debida a Zenón de Elea (siglo V a.C.). En una carrera la tortuga lleva una ventaja inicial, pero Aquiles, que corre más deprisa, pronto la alcanzará. Claramente, en cada momento de la carrera Aquiles está en un lugar y la tortuga está en otro. Dado que los dos han corrido el mismo tiempo —durante un número igual de instantes—, ambos han ocupado presumiblemente un número igual de posiciones. I 'ero para que Aquiles alcance a la tortuga debe cubrir una distancia mayor en el mismo tiempo y, por consiguiente, pasar a través de un número *mayor* de posiciones que la tortuga. ¿Cómo puede entonces Aquiles alcanzar jamás a la tortuga?

La solución de esta paradoja (una de las varias debidas a Zenón) requiere una formulación correcta del concepto de infinito. Si el tiempo y el espacio son infinitamente divisibles, entonces ambos, Aquiles y la tortuga, corren durante un número infinito de instantes a través de un número infinito de posiciones. Una característica esencial del infinito es que una parte del infinito es tan grande como el todo. Aunque el recorrido de la tortuga es más corto en distancia que el de Aquiles, aquélla pasa a través de tantas posiciones como

Aquiles, es decir, infinitas (aunque nosotros sabemos que Aquiles pasa a través de las mismas posiciones que la tortuga, ¡y aún más!).

Aparecen muchas paradojas de este estilo al estudiar el infinito.

Los matemáticos han necesitado siglos de construcción lógica para entender completamente las reglas para la manipulación correcta del infinito. Una extraña característica es que existe más de una clase de infinito. Hay el infinito de las cosas que se pueden enumerar mediante una correspondencia con los números naturales (1, 2,3... sin final) y un infinito mayor que incluso la totalidad de los números enteros es incapaz describir.

En el campo de la geometría la intuición puede ser muy engañosa. Considérese por ejemplo la longitud de una cerca que rodea un campo de área dada. Es fácil ver que un campo largo y estrecho requiere más cerca por unidad de área que un campo de forma cuadrada. Un campo circular usa la mínima longitud de cerca. Pero ¿cuán largo puede ser el perímetro? La figura 1 nos muestra un polígono de una forma un tanto extraña, formado de triángulos construidos a partir de otros triángulos en una serie de pasos. En cada paso, la longitud de la cerca crece y el área encerrada se incrementa un poco. Sin embargo, el contorno nunca saldrá fuera del círculo que lo contiene, de manera que el área total permanecerá finita, aunque el perímetro puede crecer sin límite al aumentar el número de puntas triangulares. Es posible, pues, concebir una cerca *infinitamente* larga que rodea un campo de área *finita* (ver fig. 1).

¿Qué tiene todo esto que ver con la creación del Universo? En primer lugar, nos muestra que ideas como "el infinito" no pueden usarse descuidadamente sin riesgo de conducimos a conclusiones absurdas. En segundo lugar, demuestra que los

resultados obtenidos van a menudo en contra del sentido común y de la intuición. Esta es una de las grandes lecciones de la ciencia. Es a menudo necesario recurrir a lo abstracto —las manipulaciones formales matemáticas— para dar sentido al mundo. La experiencia sola puede ser una guía poco fiable.

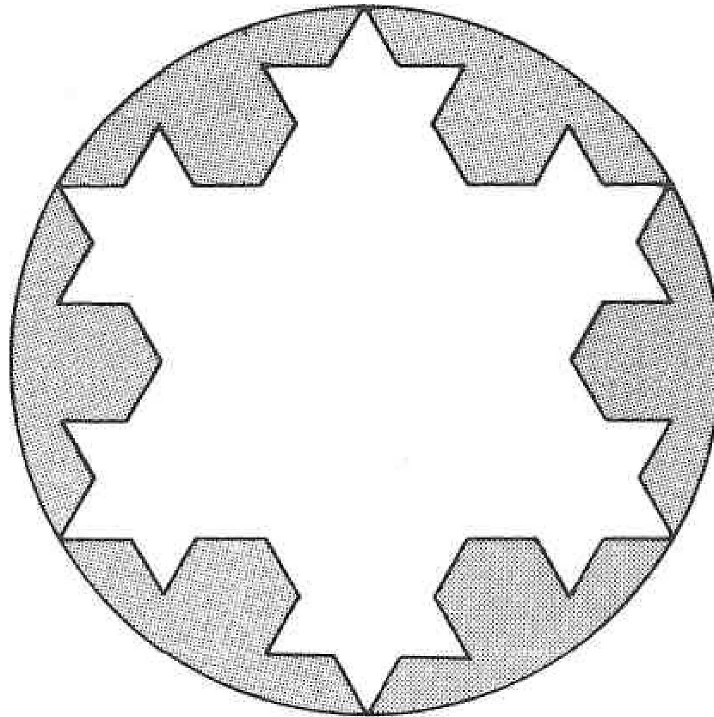


Fig. 1. El polígono irregular de la figura se construye levantando sucesivamente triángulos equiláteros en los lados de triángulos mayores. El tercer paso se muestra en la figura. A medida que el número de pasos aumenta, el perímetro del polígono se hace mayor y más "erizado". La longitud del perímetro aumenta indefinidamente al aumentar el número de lados, pero el contorno nunca sale fuera del círculo. En definitiva, el área encerrada por el contorno irregular es finita, aunque la longitud del mismo tiende a infinito en el límite de un número INFINITO de pasos.

¿Es infinito el tamaño del Universo? Si el espacio tiene un volumen infinito podemos imaginar una infinitud de galaxias poblándolo con una densidad más o menos constante. Mucha

gente no puede entender que una cosa que es infinita se expanda. ¿Expandirse hacia dónde? No hay problema: el infinito puede crecer en magnitud V aun conservar el mismo tamaño (recuérdese la enseñanza de la"tortuga"). Sin embargo, aparecen problemas conceptuales cuando volvemos la vista atrás, hacia la fase de "huevo cósmico". Si las galaxias están en todas partes, nunca pudo existir un huevo *finito* con una cáscara exterior fuera de la cual no había materia. De modo que debemos rechazar el modelo del huevo cósmico.

Imaginemos, en tal Universo infinito, una gran esfera que encierra un enorme volumen de espacio con muchas galaxias. Imaginemos ahora que el espacio se contrae rápidamente por todas partes, como Alicia en el País de las Maravillas después de comer la tarta mágica. La esfera se contrae de modo que el radio se hace más y más pequeño. Si aceptamos que se comprime literalmente hasta la nada, nos enfrentamos con el delicado problema matemático de un Universo infinito que está infinitamente comprimido. No existe ni centro ni borde. El contenido de cualquier esfera, cualquiera que 'fuera su tamaño al empezar a contraerse, estaría aplastado en un punto. Los astrónomos piensan que el Universo explotó a partir de este estado de contracción y densidad infinitas aunque sin ningún límite ni borde.

Existe otro modelo posible de Universo que evita la complicación de los infinitos, modelo propuesto por el mismo Einstein en 1917. Basado en el hecho de que el espacio puede curvarse, Einstein argumentó que el espacio puede estar conectado de muchas maneras inesperadas. La superficie curvada de la Tierra se puede usar como una analogía. La superficie de la Tierra es finita en área pero ilimitada. En ningún lugar un viajero encuentra un final. De manera semejante, el espacio podría ser finito en volumen, pero sin ningún límite.

Pocas personas pueden realmente concebir tal monstruosidad, pero los matemáticos se han encargado de solucionamos los detalles. La forma que representa esta situación se llama hiperesfera. Si el Universo es una hiperesfera, un astronauta podría circunnavegarlo como un Magallanes cósmico, dirigiendo el cohete siempre en la misma dirección hasta que regresara al punto de partida.

Aunque el cosmos hiperesférico de Einstein es finito, no tiene centro ni borde (del mismo modo que no los tiene la superficie de la Tierra), de manera que al contraerse tampoco se parecería a un huevo cósmico. Uno se puede imaginar la hiperesfera deshinchándose hasta desaparecer, desvaneciéndose su volumen de una manera análoga a como la superficie de la esfera desaparece cuando el radio se hace cero (ver fig. 2).

El estudio del espacio elástico ha llevado a los cosmólogos a proponer una teoría de la creación que difiere en gran manera de la versión bíblica.

La característica más asombrosa de esta teoría científica es que el espacio mismo fue creado en el *Big Bang,* y no únicamente la materia. Si en lugar del modelo de "globo deshinchado" se concibe un globo en expansión —expandiéndose desde la nada—, se obtiene una imagen esquemática de la historia del Génesis tal como la explica la física moderna. Es importante tener en cuenta que extrapolar el concepto de espacio hacia el pasado, hasta la fase de contracción infinita, es imposible, tanto si el Universo se parece a la hiperesfera de Einstein (modelo del globo) como si es de tamaño infinito. El primer instante del *Big Bang,* cuando el espacio estaba infinitamente comprimido, constituye una frontera temporal donde el espacio deja de existir. Los físicos llaman a tal frontera una *singularidad.*

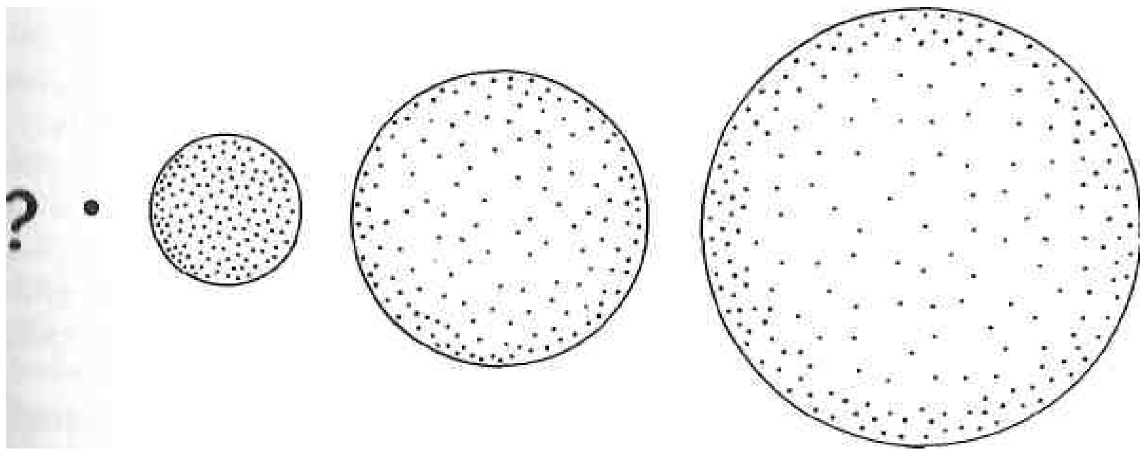


Fig. 2. Si representamos el espacio tridimensional mediante una superficie bidimensional, entonces el modelo del Universo en expansión nos recuerda a un globo inflándose desde la nada. En este modelo, el espacio es finito, pero ilimitado. Los puntos representan galaxias (o cúmulos de galaxias). A medida que el Universo se expande, el espacio también lo Mace, de manera que todos los puntos se apartan de los puntos vecinos. Un observador situado en un punto cualquiera vería alejarse a los demás puntos de una manera sistemática y le daría la impresión de estar en el centro de esta migración hacia el exterior.

La idea de un espacio que se crea a partir de la nada es una idea sutil que mucha gente encuentra difícil de entender, especialmente si se está acostumbrado a imaginar el espacio como algo que es "nada". El físico, sin embargo, contempla el espacio más como un medio elástico que como vacío. En efecto, veremos en capítulos posteriores que, debido a los efectos cuánticos, aun el vacío más puro es un hervidero de actividad y está repleto de estructuras efímeras. Para el físico, "nada" significa tanto "sin espacio" como "sin materia".

Más sorpresas nos aguardan. El espacio está inextricable mente vinculado al tiempo, y cuando el espacio se expande o se contrae también lo hace el tiempo. El *Big Bang* representa tanto la creación del espacio como la creación del tiempo. Ni el

espacio ni el tiempo pueden ser llevados atrás hasta la singularidad inicial. El tiempo empezó a correr en el *Big Bang.*

Estas extrañas ideas sólo pueden ser plenamente asimiladas apelando a las matemáticas. La intuición humana es una guía inadecuada, lo cual constituye una de las principales razones que justifican el éxito del método científico. Empleando las matemáticas como lenguaje, la ciencia puede describir situaciones que están más allá de la capacidad de imaginación de los seres humanos. Sin duda, la mayor parte de la física moderna entra dentro de esta categoría. Sin la descripción abstracta que nos proporcionan las matemáticas, la física nunca hubiera avanzado más allá de la simple mecánica. Por descontado que también los físicos necesitan ayudarse de modelos mentales tales como átomos, ondas luminosas, Universo en expansión, electrones y demás, pero las imágenes son a menudo inexactas y pueden dar lugar a confusión. De hecho, puede ser imposible visualizar correctamente ciertos sistemas físicos, como los átomos, puesto que contienen ciertas características que simplemente no existen en nuestra vida diaria (tal como veremos cuando tratemos la teoría cuántica en el capítulo 8).

El fracaso de la imaginación humana para asimilar ciertos aspectos cruciales de la realidad nos advierte que no podemos intentar explicar las grandes verdades religiosas (tales como la naturaleza de la creación) a partir de ideas elementales sobre el espacio, el tiempo y la materia recogidas de la experiencia cotidiana.

Las dificultades intelectuales acerca del origen del tiempo no son nuevas. Tanto Aristóteles como Santo Tomás de Aquino rechazaron la idea de que el tiempo hubiera sido creado, puesto que ello implicaría que hubo un primer suceso. ¿Qué causó el primer suceso? Nada, puesto que no hubo ningún suceso

anterior.

Sin embargo, el carácter finito del tiempo no implica necesariamente la existencia de un primer suceso. Imaginemos sucesos numerados, con el cero correspondiendo a la singularidad. La singularidad no es un suceso, es un estado de densidad infinita o algo parecido, donde el espacio-tiempo ha cesado. Preguntarse cuál fue el primer suceso *después* de la singularidad, equivale a preguntarse cuál es el primer número mayor que cero. No existe tal número puesto que cualquier fracción, por muy pequeña que sea, siempre se puede subdividir indefinidamente. Del mismo modo, no existe un primer acontecimiento.

El concepto de tiempo infinito es igualmente confuso. Como señalara Kant:

Si suponemos que el mundo no ha tenido comienzo en el tiempo, entonces antes de cada instante ha transcurrido toda una eternidad y han pasado en el mundo una serie infinita de cosas. Ahora bien, la condición de Infinitud de la serie consiste en el hecho de que nunca se puede completar a través de síntesis sucesivas. Se deduce que es imposible que haya ocurrido un número infinito de sucesos y que, por tanto, un comienzo del mundo es una condición necesaria para la existencia del mismo.

Sin embargo, teniendo presente a Zenón debemos ir con cuidado al manipular el infinito. De acuerdo con la línea de razonamiento de Kant, Aquiles nunca podría completar la serie infinita de pasos "a través de síntesis sucesivas" necesarios para alcanzar a la tortuga. No obstante, sabemos que la alcanzará.

Tampoco es una objeción válida señalar que en el caso de Zenón el tiempo transcurrido es finito, mientras que Kant se refiere al paso de un tiempo infinito. En ambos casos hay un

número infinito de instantes en juego. Cualquier matemático puede demostrar que no hay más instantes en toda la eternidad que, digamos, en un minuto. En ambos casos hay un número infinito y este infinito no se puede hacer mayor mediante una "expansión infinita".

Otra objeción al razonamiento de Kant es la hipótesis de que el tiempo "transcurre", lo cual implica la idea de un tiempo fluyente o cambiante. Pocos físicos estarían de acuerdo en que el tiempo llave o pasa. Está simplemente *allí,* como el espacio (a este tema volveremos en el capítulo 9).

En resumen, parece que no hay mucha diferencia entre un Universo eterno y uno con una edad finita, limitado en el pasado por una singularidad. Suponiendo que el segundo sea el correcto, ¿debemos concluir que la ciencia apoya la versión bíblica de la creación?

No hay un acuerdo general entre los cristianos sobre cómo interpretar la narración bíblica del Génesis. En el año 1951, el Papa Pío XII, dirigiéndose a la Academia Pontificia de las Ciencias en Roma sobre las implicaciones de la cosmología moderna, aludió a la teoría del *Big Bang* y al hecho de que "todo parece indicar que hubo, hace un tiempo finito, un impetuoso comienzo". Sus comentarios provocaron una fuerte reacción (no menor entre los científicos). Los teólogos contemporáneos están todavía divididos acerca de si es o no el *Big Bang* la Creación supuestamente revelada a los escritores de la Biblia. Así, Ernan McMullin, de la Universidad de Notre Dame en los Estados Unidos, en un artículo reciente titulado «¿Cómo se debería relacionar la cosmología con la teología?» concluye que: «No se puede decir que la doctrina cristiana de la Creación "apoya" el modelo del *Big Bang,* ni tampoco que el modelo del *Big Bang* apoya la doctrina de la Creación.» A pesar de ello, muchas personas que consideran que gran parte del Antiguo Testamento

es ficción encuentran consuelo en el aparente apoyo que la moderna cosmología científica aporta a la historia del Génesis.

Si aceptamos que en el *Big Bang* el espacio y el tiempo surgieron de la nada, debemos admitir que hubo una Creación y que el Universo tiene una edad finita. En este caso, la paradoja de la segunda ley de la termodinámica está resuelta. El Universo no ha alcanzado el equilibrio termodinámico porque "solamente" ha estado desordenándose durante dieciocho mil millones de años, encontrándose aún muy lejos de finalizar el proceso. Además, podemos comprender por qué las galaxias no se han precipitado unas sobre otras. La violenta explosión las ha separado, y aunque el ritmo de separación está decreciendo, no ha habido suficiente tiempo todavía para que empiecen a retroceder.

Si la teoría del *Big Bang* se basara solamente en el trabajo de Hubble y Einstein, no hubiera logrado alcanzar el amplio consenso de que disfruta. Afortunadamente, hay datos que la confirman.

La violencia que acompañó el nacimiento del Cosmos debe haber dejado muchas huellas en la estructura del Universo y cabe esperar que algunos residuos de la fase primitiva hayan sobrevivido hasta hoy. La búsqueda de vestigios de la Creación es ahora una de las empresas científicas más populares y, por increíble que pueda parecer, existen buenas razones prácticas para ello. En el Universo primitivo se dieron unas condiciones físicas extremas que no pueden ser reproducidas en la Tierra, ni siquiera en los laboratorios científicos más sofisticados. Para verificar sus teorías acerca del comportamiento de la materia bajo condiciones extremas, los físicos deben recurrir a la cosmología del recién creado Universo. El Universo primitivo proporciona un laboratorio natural ideal. Si encontramos huellas de los procesos físicos que ocurrieron durante el primer breve

destello de la existencia, podremos hacer cálculos y comprobar si estos procesos están de acuerdo con lo que los teóricos predicen acerca del comportamiento de la materia bajo tales condiciones extremas.

El más importante vestigio del Universo primitivo fue descubierto por casualidad a mediados de los años sesenta. Dos físicos que trabajaban para la compañía Bell en Estados Unidos tropezaron con una misteriosa radiación procedente del espacio. Un análisis cuidadoso ha revelado que esta radiación, diseminada por todo el Universo, es un remanente del calor original; podríamos decir que se trata del débil resplandor residual del llameante nacimiento del Universo. El *Big Bang,* como cualquier otra explosión, generó cantidades enormes de calor, tanto que los gases cósmicos necesitaron cien mil años para enfriarse hasta temperaturas del orden de las de la superficie del Sol. Dieciocho mil millones de años después, la temperatura ha descendido hasta niveles muy bajos, meramente tres «grados por encima del cero absoluto (—273 °C). De todos modos, todavía queda una gran cantidad de energía atrapada en la radiación térmica.

Conociendo la temperatura actual de la radiación residual térmica de fondo, es una simple cuestión de escala calcular su valor en cada época. Cada vez que una región típica del Universo dobla su tamaño, la temperatura decrece en un cincuenta por ciento. Extrapolando hacia atrás en el tiempo, se deduce rápidamente que, por ejemplo, un segundo después de la Creación la temperatura era de diez mil millones de grados. Esto puede parecer muy caliente, pero entra perfectamente dentro del campo de la experiencia de laboratorio. En efecto, usando los modernos aceleradores de partículas para producir colisiones a altas energías, es posible simular durante un fugaz instante las condiciones de la explosión primitiva a simplemente

un millón de millonésimas de segundo después del comienzo, cuando la temperatura alcanzaba el asombroso valor de mil billones de grados. Los físicos pueden, pues, con alguna confianza, construir modelos de muchos de los procesos físicos que debieron ocurrir después del instante inicial.

Con la ayuda de tales modelos es posible determinar qué clase de material cósmico ha albergado el Universo en sus distintas fases de desarrollo. Por ejemplo, entre cerca de un segundo y cinco minutos después del comienzo, las condiciones fueron favorables para que las reacciones nucleares tuvieran lugar. El principal proceso fue la fusión de núcleos .de hidrógeno para formar helio y algo de deuterio. Según los cálculos, la proporción final de helio e hidrógeno debería ser aproximadamente del 25 % en masa, lo cual es un *va*lor muy próximo a las abundancias relativas cósmicas de estos dos elementos observados hoy en día. (El hidrógeno y el helio constituyen cerca del noventa y nueve por ciento de la materia en el Universo). Una conclusión de tal rigor científico y tan evidente nos hace confiar en que las ideas básicas de la teoría del *Big Bang* sean correctas.

Dado que las temperaturas que entran en juego en las fases anteriores al primer segundo son tan elevadas, el estudio de este período exige el uso de la física de altas energías. A estas temperaturas la materia está completamente desmenuzada y sus constituyentes elementales (que serán discutidos en el capítulo 11) están separados. Esta fase tan temprana (el primer segundo de la existencia) es actualmente objeto de intenso estudio por los físicos teóricos, algunos de los cuales creen que muchas características actuales del Universo pueden explicarse a partir de procesos que ocurrieron entonces. En el siguiente capítulo se describirán algunos de estos descubrimientos más recientes.

La teoría del *Big Bang* está ampliamente aceptada entre los

astrofísicos y los cálculos sobre las abundancias del helio se han convertido en parte de la cosmología corriente. Es, por tanto, fácil pasar por alto la sorprendente naturaleza de estos éxitos. Si un arqueólogo del siglo XIX presumiera haber descubierto el Jardín del Edén y hubiera proporcionado un vestigio que mostrase la innegable evidencia de la obra de Dios durante el primer día, realmente hubiera causado un gran revuelo. Puede que el helio no sea muy familiar para la mayoría de la gente. Sin embargo, se puede comprar normalmente en el mercado industrial. Es un pensamiento extraordinariamente sugestivo que esta sustancia común de laboratorio se formara en el horno primitivo, no ya en el primer día, sino durante los primeros pocos minutos de la existencia.

Aunque la opinión científica actual da un fuerte apoyo a la teoría de la Creación, es importante darse cuenta de que no existe ninguna razón lógica en contra de que el Universo tenga una edad infinita. La principal dificultad física estriba (tal como hemos visto) en el segundo principio de la termodinámica. Sin embargo, alguna que otra vez se han propuesto mecanismos para soslayar esta dificultad. Uno de ellos es el modelo del estado estable debido a Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle. En todas las versiones de esta teoría, el Universo tiene una edad infinita. La muerte térmica se evita postulando la creación continua de nueva materia de baja entropía. Así, se afirma que la materia no apareció toda de una vez en la explosión primitiva, sino que va surgiendo gradualmente, o quizás esporádicamente, en pequeñas dosis a lo largo de los eones. El ritmo medio de creación de materia se ajustaría (quizá mediante un mecanismo de realimentación) de manera que, cuando la densidad del Universo decreciera debido a la expansión, la recién creada materia llenaría los espacios libres a fin de mantener la densidad sensiblemente constante. La

dispersión de las galaxias estaría con ello compensada por la creación de nuevas galaxias en el vacío resultante, de modo que el aspecto global del Universo sería bastante similar en cualquier época. Globalmente nada cambiaría (ver fig. 3). En contraste, en el modelo del Big Bang la densidad de galaxias decrece uniformemente y el Universo evoluciona en estructura y disposición.

Hoyle intentó explicar la creación continua de la materia inventando un nuevo tipo de campo que transportase energía negativa. El incremento uniforme de este campo suministra la energía positiva necesaria para crear la materia (la creación de materia a partir de la energía se describirá en el capítulo siguiente). Así, Dios es abolido por completo en el modelo del estado estable. En primer lugar, no hace falta que se cree la energía primitiva necesaria para la creación de la materia: se consigue simplemente depositando energía negativa en algún otro sistema. En segundo lugar, el espacio y el tiempo no han sido creados, ya que siempre han existido.

El modelo del estado estable ha tenido un gran atractivo filosófico para muchos científicos, que se sintieron atraídos por su elegancia y simplicidad. Sin embargo, los avances en astronomía acaban inexorablemente con cualquier teoría incorrecta, y el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo en 1965 fue la estocada definitiva para el modelo del estado estable. No obstante, esta teoría nos lega una idea importante, puesto que demuestra la posibilidad lógica de un Universo sin ninguna creación abrupta ni una muerte térmica, en el cual todos los procesos, incluidos los de creación de materia, se atribuyen a mecanismos naturales.

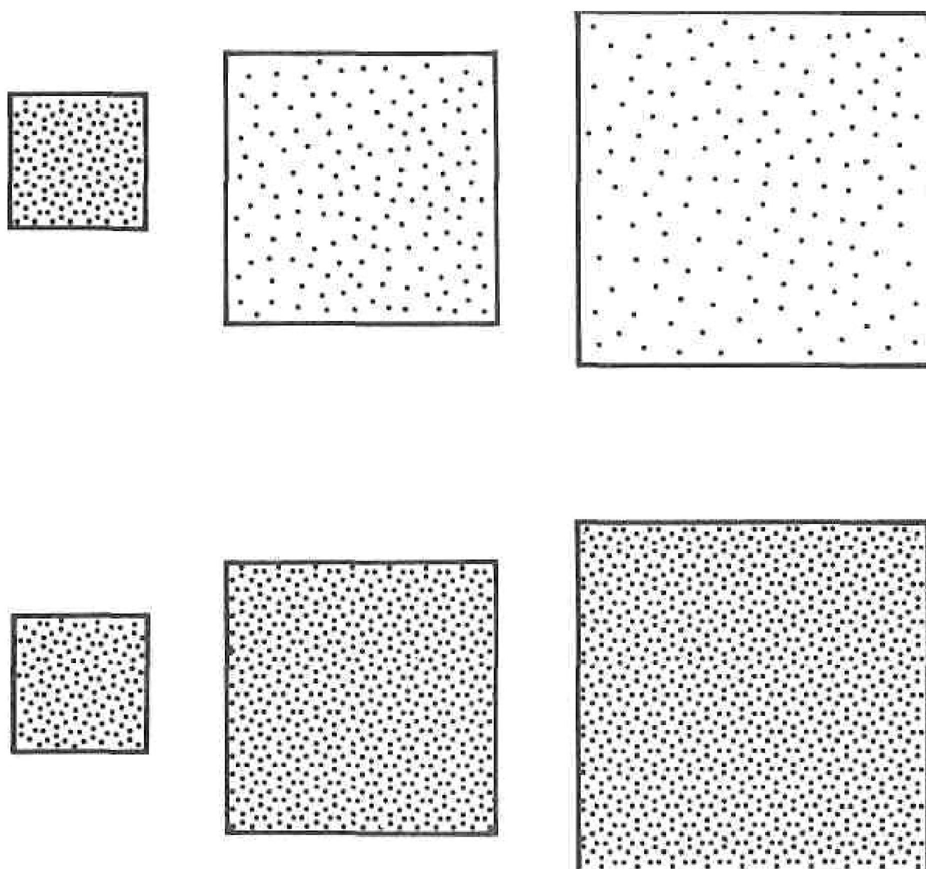


Fig. 3. La figura contrasta tres "instantáneas" sucesivas de una región del espacio en expansión según las teorías del *Big Bang* y del estado estable. En el caso del *Big Bang* (arriba) el número de galaxias por volumen de espacio es constante. En el caso del estado estable (abajo) la densidad de galaxias permanece invariable a través de las distintas épocas, de manera que deben crearse nuevas galaxias para rellenar los huecos producidos por el espacio en expansión

El hecho de que la moderna cosmología haya proporcionado datos físicos en favor de la Creación es motivo de gran satisfacción para los pensadores religiosos. Sin embargo, saber que hubo una Creación no es suficiente. La Biblia dice que Dios creó el Universo. ¿Puede la ciencia arrojar alguna luz acerca de la causa del *Big Bang?* Esto forma parte del tema del próximo capítulo.

III. ¿CREÓ DIOS EL UNIVERSO?

«Quiero saber cómo creó Dios este mundo.»
EINSTEIN

«No tuve necesidad de esta hipótesis.»
PIERRE LAPLACE A NAPOLEÓN BONAPARTE

Recientemente una revista muy conocida publicaba en grandes titulares: "¡Los astrónomos han descubierto a Dios!" El tema central del artículo era el Big Bang y los recientes avances en nuestra comprensión de las épocas primitivas del Universo. Para el hombre de la calle, el hecho de la Creación se considera una prueba suficiente de la existencia de Dios. Pero ¿qué se quiere indicar exactamente cuando se dice que Dios causó la Creación? ¿Es acaso posible concebir la Creación sin Dios? ¿Pone al descubierto la astronomía moderna, de una manera inevitable, los límites del Universo físico y obliga a invocar lo sobrenatural?

La palabra "Creación" admite una amplia variedad de interpretaciones y es importante distinguir claramente entre los distintos significados. La creación del Universo se puede considerar como la súbita organización de la materia primitiva, caótica y sin estructura, en la presente compleja ordenación y elaborada actividad que observamos. Puede significar también la creación de materia a partir de un vacío sin rasgos distintivos. O puede significar la abrupta creación del mundo físico entero, incluyendo el espacio y el tiempo, a partir de la nada más absoluta. Por otro lado está el tema de la creación de la vida y del hombre mismo, tema del que nos ocuparemos más adelante.

La versión bíblica de la creación del Universo "en el primer día" es bastante vaga al explicar lo que sucedió exactamente. Existen, de hecho, dos versiones de la creación, pero ninguna menciona explícitamente que existiese la materia de la que están hechas las estrellas y los planetas, la Tierra y nuestros propios cuerpos, antes del suceso mismo de la Creación. La creencia de que Dios creó este material cósmico de la nada forma parte integral de la doctrina cristiana. En efecto, parece venir impuesta por la hipótesis de la omnipotencia de Dios: si Dios no creó la materia, se encontró limitado en su obra por la naturaleza de la materia prima que se encontraba a su disposición.

Antes de este siglo, los científicos y parte de los teólogos creían que la materia no podía ser creada (o destruida) por medios naturales. Desde luego, la forma de la materia puede variar, por ejemplo, mediante una reacción química, pero se consideraba que la cantidad total de materia era constante. Los científicos, enfrentados con .el problema del origen de la materia, se inclinaban a creer en un Universo de edad infinita, evitando así completamente la necesidad de una Creación, ya que en un "Universo eterno", la materia siempre ha existido y no hay ninguna necesidad de plantearse el problema de su origen.

La creencia de que la materia no podía ser creada por medios naturales se vino abajo espectacularmente en los años treinta cuando por primera vez se sintetizó materia en el laboratorio. Los sucesos que llevaron a este descubrimiento son un ejemplo clásico de la potencia de la física moderna.

La historia, como tantas otras, empieza en 1905 con Einstein y su famosa ecuación, E = mc2, que es la expresión matemática de la equivalencia entre la masa y la energía: la masa tiene energía y la energía tiene masa. La masa es la cuantificación de la materia: la masa de un cuerpo nos dice cuánta materia contiene. Una masa grande es sinónimo de pesado y difícil de mover, masa pequeña quiere decir ligero y fácil de mover. El hecho de que la masa sea equivalente a la energía quiere decir que, en un sentido, la materia es “energía aprisionada". Si se encuentra un medio de liberarla, la materia desaparece entre una explosión de energía. Por el contrario, si se encuentra suficiente energía, aparece materia.

En su concepción original, la ecuación de Einstein, una consecuencia de la teoría de la relatividad, estaba relacionada con las propiedades de los cuerpos que se mueven a velocidades enormes, próximas a la velocidad de la luz. De acuerdo con la teoría, la energía de movimiento de un cuerpo debería revertir en un aumento de su peso (de su masa). El efecto es minúsculo a las

velocidades ordinarias, porque para producir un poco de masa se necesita una increíble cantidad de energía: por ejemplo, un gramo de masa es equivalente a mil millones de dólares en energía a los precios actuales. Sin embargo, los modernos aceleradores de partículas subatómicas pueden acelerar la velocidad de los electrones y protones hasta velocidades próximas a la de la luz y se observa que, efectivamente, sus masas aumentan docenas de veces.

El aumento de la masa con la velocidad, por sí solo, no justifica la creación de la materia. Explica simplemente el incremento de la materia ya existente. La posibilidad de producir partículas materiales completamente nuevas a partir de energía concentrada surge en los años treinta gracias a las investigaciones matemáticas de Paul Dirac, investigaciones que hicieron época. Dirac intentaba conciliar la teoría de la relatividad de Einstein y su ecuación E = mc2 con la otra gran revolución de la física del siglo XX: la teoría cuántica, que se ocupa del comportamiento de la materia atómica y subatómica. Se necesita una teoría cuántica relativista unificada para describir las partículas subatómicas que se mueven a velocidades próximas a la de la luz, como las partículas que se producen en las emisiones radiactivas.

Tras un razonamiento matemático, Dirac propuso una nueva ecuación para describir la materia atómica a altas velocidades. Fue un éxito inmediato, porque permitió explicar una hasta entonces desconcertante propiedad de los electrones: cuando éstos giran, lo hacen de un modo totalmente discrepante con las reglas de la geometría elemental o del sentido común. Para decirlo en pocas palabras, un electrón debe dar dos vueltas sobre sí mismo para volver a presentar la misma cara que antes. Esto proporciona otro buen ejemplo de cómo las matemáticas deben reemplazar a la intuición en el mundo abstracto de la física moderna.

Sin embargo, las ecuaciones de Dirac tenían una característica enigmática. Sus soluciones describían correctamente el

comportamiento de los electrones ordinarios, pero para cada solución existía otra asociada que no parecía corresponderse con ninguna partícula conocida en el Universo. Con un poco de imaginación fue posible dilucidar cómo serían estas partículas desconocidas. Su masa debería ser igual a la del electrón, pero mientras que los electrones tienen carga eléctrica negativa, las nuevas partículas deberían tener carga positiva. Otras propiedades, como el spin, deberían invertirse, convirtiendo a las nuevas partículas en una especie de imagen especular de los electrones.

Más espectacular aún fue la predicción de Dirac de que, si se pudiera concentrar suficiente energía, uno de estos "antielectrones" podría ser creado. A fin de que se conserve la carga eléctrica, este suceso debería ir acompañado por la aparición simultánea de un electrón. De esta manera, la energía se podría emplear directamente para crear materia en la forma de un par electrón-antielectrón.

Al mismo tiempo (1930), el físico C.Y. Chao estaba experimentando con el poder penetrante de los rayos gamma (fotones de alta energía) en materiales pesados tales como el plomo. Se dio cuenta de que los rayos gamma más energéticos eran atenuados de una manera curiosamente eficiente. La causa de la absorción adicional de los rayos era un misterio para Chao. Sin embargo, hoy en día sabemos que se debía a la producción de pares electrón-antielectrón.

Cari Anderson, en 1933, se encontraba estudiando la absorción de los rayos cósmicos (partículas de alta energía provenientes del espacio) por láminas metálicas cuando reconoció de una manera inequívoca la aparición del antielectrón de Dirac. Se había creado materia en el laboratorio en un experimento controlado. Se verificó rápidamente que las nuevas partículas poseían las propiedades que cabía esperar. Por esta brillante predicción y el posterior descubrimiento, Dirac y Anderson compartieron el Premio Nóbel.

En los años sucesivos, la producción de electrones y antielectrones (generalmente llamados positrones) empezó a convertirse en algo habitual en muchos procesos de laboratorio. Después de la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo de las máquinas aceleradoras de partículas subatómicas permitió la producción controlada de otros tipos de partículas. Se materializaron antiprotones y antineutrones. Hoy en día, los positrones y los antiprotones se pueden producir en grandes cantidades y almacenarse en "botellas" magnéticas. A las antipartículas se les da el nombre genérico de antimateria y se producen de manera rutinaria en los laboratorios de física de todo el mundo.

Todo esto parece abrir la puerta a una explicación natural del origen de la materia. Durante el Big Bang se disponía de enormes cantidades de energía para causar la producción incoherente de vastas cantidades de materia y antimateria. Con el tiempo, este material se fue enfriando y empezó a agregarse para producir las estrellas y los planetas. Por desgracia, esta sencilla idea presenta un inconveniente. Cuando la materia y la antimateria se encuentran, se aniquilan mutuamente con una enorme liberación de energía, en un proceso inverso al de creación de materia (ver fig. 4).

Un Universo compuesto de una mezcla de materia y antimateria es, pues, violentamente inestable. La cantidad máxima de antimateria que puede haber en nuestra galaxia es insignificante. Entonces, ¿qué ha ocurrido con toda la antimateria? En el laboratorio, cada partícula que se crea viene acompañada por una antipartícula, de manera que podríamos esperar que el Universo fuera una mezcla de materia y antimateria al cincuenta por ciento. Sin embargo, las observaciones obligan a descartar esta suposición.

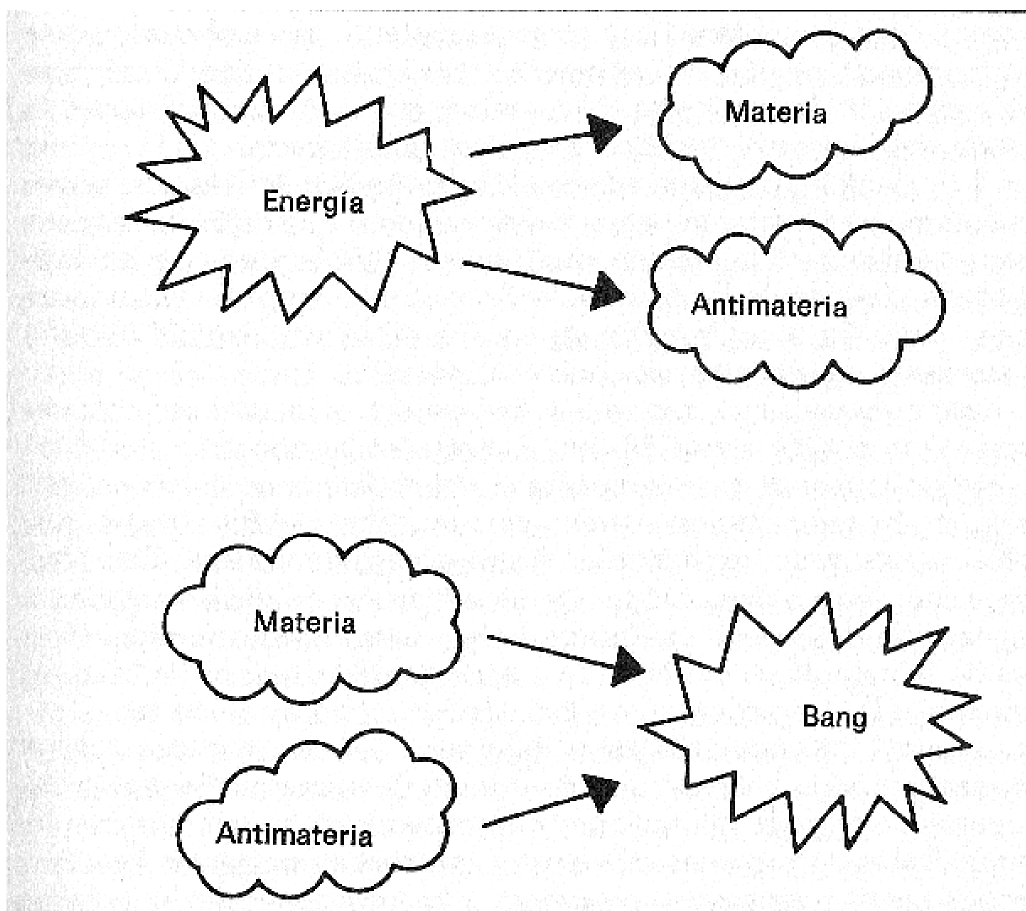


Fig. 4. En el laboratorio se puede crear materia a partir de energía, pero al hacerlo se obtiene también una cantidad igual de antimateria. Cuando la materia y la antimateria entran en contacto, se aniquilan en una explosión, liberando la energía que contienen. No sabemos todavía cómo pudo crearse toda la materia del Universo sin sufrir la contaminación de la antimateria.

Algunos astrofísicos han intentado explicar este enigma con la hipótesis de que, de alguna manera, la materia y la antimateria se las arreglan para mantenerse separadas en grandes dominios compuestos predominantemente de materia o bien de antimateria. Quizá hay galaxias enteras compuestas de antimateria y otras de materia. Sin embargo, no se ha propuesto ningún mecanismo convincente que permita explicar la separación de la materia de la antimateria y, por consiguiente, la teoría del Universo simétrico ha caído en desgracia.

Los científicos que identifican el Big Bang con la Creación se encuentran en la aparente necesidad de suponer que algún suceso sobrenatural inyectó la materia en el Universo sin la presencia de antimateria, desafiando las leyes de la física. Suelen replicar vagamente que "todas las leyes pierden su validez en la singularidad inicial", pero estos argumentos son poco satisfactorios.

Sin embargo, muy recientemente, parece que se ha encontrado una salida posible a este dilema. Aunque en las condiciones del laboratorio la creación de la materia y la antimateria es siempre simétrica, en las temperaturas extremadamente altas del Big Bang es posible que estuviera permitido un ligero exceso de materia. Esta idea proviene de una línea teórica de investigación que intenta proporcionar una descripción unificada de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza (un tema que será discutido más a fondo en el capítulo 11). De acuerdo con los cálculos teóricos, a una temperatura de mil millones de billones de grados, temperatura que únicamente se podría haber alcanzado durante la primera billonésima de segundo, por cada mil millones de antiprotones se habrían creado mil millones de protones más uno. De manera semejante, los electrones habrían superado en número a los positrones por una parte en mil millones.

Este exceso, aunque ínfimo, podría haber sido crucialmente importante. En la carnicería subsiguiente, los mil millones de pares de protones y antiprotones se habrían aniquilado mutuamente, pero el único protón desapareado habría sobrevivido junto con el solitario electrón. Estas partículas sobrantes (casi un capricho de la naturaleza) se convirtieron en el material que, con el tiempo, formaría toda: las galaxias, todas las estrellas y los planetas y, por supuesto, a nosotros mismos. De acuerdo con esta teoría, nuestro Universo procede de un insignificante residuo de materia no equilibrada que sobre vive como un vestigio del primer instante de la existencia.

Como todas las buenas teorías, los físicos encuentran convincente esta explicación del origen del Universo. Sin embargo, ¿existen pruebas que la corroboren?

Dos resultados parecen confirmarla. El primero se refiere a le aniquilación en masa de los miles de millones de pares de partícula: y antipartículas que acompañaron a las partículas sobrantes. Le energía de esta masacre debe haber sobrevivido, presumiblemente en forma de calor. Pero como se ha mencionado en el capítulo anterior, el Universo está, efectivamente, bañado en radiación térmica remanente del Big Bang. Es simplemente cuestión de sumar le energía calorífica por átomo superviviente para ver si los números cuadran con la hipótesis de un átomo por cada mil millones de pares. En efecto, así es; o al menos se puede obtener un buen acuerdo utilizando modelos muy plausibles. De esta forma, esta teoría no solamente explica el origen de la materia sino también la temperatura precisa del Universo. Es un éxito destacable.

A pesar de todo, sería deseable disponer de alguna confirmación adicional para poder afirmar con seguridad que no es necesario postular un origen divino para la materia. Una prueba experimental obtenida directamente en el laboratorio de una clara asimetría entre la materia y la antimateria proporcionaría la mayor de las convicciones. Con un poco de suerte, estamos a punto de obtener un resultado de este tipo.

La teoría que predice el minúsculo exceso de producción de materia también predice una insignificante destrucción de materia por el mismo mecanismo. Si la teoría es cierta, los protones, tras un inmenso lapso de tiempo, se desintegrarán en positrones, los cuales, a su vez, se aniquilarán con los electrones. De acuerdo con esta teoría, toda la materia está destinada finalmente a desaparecer. Sin embargo, la escala de tiempos es tan grande que el cuerpo humano perdería únicamente un protón a lo largo de una vida. Para verificar su teoría, los científicos están enterrando grandes concentraciones

de materia bajo el suelo (a fin de eliminar los efectos debidos a los rayos cósmicos) para intentar sorprender un protón en el preciso instante de su desaparición. Dado que se puede tratar este proceso desde un punto de vista estadístico (como la radiactividad), es posible observar una desintegración ocasional tras un modesto tiempo de espera de algunas semanas, a pesar de que la vida media del protón es como mínimo del orden de un millón de trillones de años (1030). El secreto estriba en acumular muchas toneladas de materia (y por tanto una gran cantidad de protones) para incrementar así la probabilidad de que uno de ellos se desintegre durante el tiempo de observación. Varios experimentos de este tipo se están llevando a cabo, pero hasta ahora ninguno ha producido resultados satisfactorios.

La cuestión del origen de la materia ilustra un problema fundamental que aparece en cualquier intento de deducir la existencia de Dios a partir de fenómenos físicos. Lo que una vez pareciera milagroso, es decir, la aparición de materia sin antimateria, es hoy en día, a la luz de nuevos descubrimientos científicos, algo perfectamente explicable con la ayuda de conceptos físicos. Por muy sorprendente e inexplicable que pueda ser una nueva idea, nunca podemos estar completamente seguros de que en un futuro más o menos lejano no se descubra un nuevo fenómeno que la justifique.

¿Se puede inferir del estado actual de la ciencia que estamos en condiciones de explicar la Creación en términos de procesos naturales? Muchos teólogos lo negarían rotundamente. Los procesos que hemos descrito no representan la creación de materia a partir de la nada, sino la conversión de energía preexistente en materia. Nos queda todavía por decir de dónde viene esta energía. ¿Es para ello necesaria una explicación sobrenatural?

Tenemos que ser precavidos al trasladar la responsabilidad de la materia a la energía de esta manera. La energía es un concepto un

tanto delicado, especialmente dentro de la física moderna. ¿Qué es la energía? Puede tomar distintas formas. Por ejemplo, puede ser simplemente movimiento. En el laboratorio podemos hacer chocar partículas a altas velocidades y obtener cuatro partículas donde antes no había más que dos. Las nuevas partículas aparecen a cambio de reducir la velocidad de las dos partículas originales. La conversión de movimiento, que es algo intangible, en algo tangible como la materia está muy próxima a la idea que tenemos de creación a partir de la nada.

Hay otra posibilidad todavía más notable; se trata de la creación de la materia a partir de un estado de energía cero. Esta posibilidad resulta de que la energía puede ser tanto positiva como negativa.

La energía de movimiento o la energía de masa es siempre positiva. En cambio, la energía de atracción, como la debida a los campos gravitatorios o electromagnéticos, es negativa. Pueden darse casos en que la energía positiva necesaria para materializar las nuevas partículas sea compensada exactamente por la energía negativa gravitatoria o electromagnética. Por ejemplo, en las proximidades de un núcleo atómico el campo eléctrico es muy intenso. Si pudiéramos conseguir un núcleo con 200 protones (algo difícil, pero posible), entonces el sistema se haría inestable en contra de la producción espontánea de pares electrón-positrón, sin que se suministrara energía en absoluto. La razón es que la energía eléctrica negativa generada por el nuevo par de partículas puede compensar exactamente la energía de sus masas.

En el caso gravitacional la situación es todavía más extraña, ya que, de acuerdo con la teoría de la relatividad general de Einstein, el campo gravitacional no es más que una deformación del espacio curvo. La energía encerrada en este espacio deformado puede convertirse en partículas de materia y antimateria. Esto ocurre, por ejemplo, en las cercanías de un agujero negro y, probablemente, este

proceso constituyó la fuente más importante de producción de partículas en el Big Bang. Así, la materia aparece espontáneamente en el espacio vacío. La cuestión que se plantea es saber si el Big Bang poseía energía o si, por el contrario, el Universo entero es un estado de energía cero, donde la energía de toda la materia está compensada por la energía negativa de la atracción gravitacional.

Es posible dilucidar esta cuestión mediante un simple cálculo. Los astrónomos pueden medir las masas de las galaxias, las separaciones medias entre las mismas y sus velocidades de recesión. Introduciendo todos estos datos en una determinada fórmula, se obtiene una cantidad que los físicos han interpretado como la energía total del Universo. Esta cantidad, en efecto, es muy próxima a cero dentro de la precisión con que se pueden realizar las observaciones. Este resultado ha sido durante largo tiempo motivo de perplejidad para los cosmólogos. Algunos han sugerido que hay un profundo principio cosmológico que exige que el Universo tenga exactamente energía cero. Si esto es así, el Cosmos puede haber seguido el camino de mínima resistencia al irrumpir en la existencia sin requerir en absoluto ningún suministro de materia o energía.

Todo esto se complica mucho más por el hecho de que, en presencia de gravedad, la energía ni tan sólo está definida propiamente. En algunos casos es posible dar sentido al concepto de energía total de un sistema aislado considerando que su influencia gravitacional se extiende a una gran distancia (de hecho infinita). Sin embargo, esta estrategia no sirve si el Universo es espacialmente finito, como es el caso del modelo propuesto por Einstein que se discutió brevemente en el capítulo anterior. En tal Universo cerrado, la energía total es una cantidad que no tiene sentido.

¿Equivalen todos estos ejemplos, como la creación natural de materia a partir del espacio vacío (quizá incluso sin necesidad de ningún suministro de energía) a la Creación ex nihilo de la teología? Se puede argumentar que la ciencia todavía no ha justificado la

existencia del espacio y el tiempo. Dando por sentado que la creación de la materia, durante tanto tiempo considerada el resultado de una acción divina, puede quizá ser ahora comprendida en términos científicos ordinarios, ¿debemos aún recurrir a Dios para explicar por qué existe el Universo, es decir, por qué existían el espacio y el tiempo a partir de los cuales surgió la materia?

La creencia de que el Universo como un todo debe tener una causa —a saber, Dios— fue enunciada por Platón y Aristóteles, fue desarrollada por Santo Tomás de Aquino y alcanzó su punto álgido con Wilhelm von Leibniz y Samuel Clarke en el siglo XVIII. Se conoce generalmente como el argumento cosmológico en favor de la existencia de Dios. Existen dos versiones del argumento cosmológico: el argumento causal que vamos a tratar ahora y el argumento de la contingencia que será discutido en el siguiente capítulo. El argumento cosmológico fue tratado con escepticismo por Hume y Kant y fue duramente atacado por Bertrand Russell.

Los objetivos del argumento cosmológico son dos: El primero es establecer la existencia de una "causa primera", un ser que dé cuenta de la existencia del mundo. El segundo es demostrar que este ser es, en efecto, Dios tal y como se entiende en la doctrina cristiana.

El argumento es, en esencia, el siguiente: Cada suceso debe tener una causa. No puede haber una cadena infinita de causas, de modo que debe haber una primera causa. Esta causa es Dios. Antes de seguir, debemos mencionar que ha habido muchas versiones del argumento cosmológico y muchas sutiles interpretaciones de su significado, de manera que a lo largo de los años el debate se ha convertido en algo esotérico y complejo. No es mi intención hacer aquí una valoración de los pros y los contras, sino simplemente decir que en esta discusión se han comprometido algunos de los más grandes intelectos de la historia de la humanidad, lo cual por otra parte no les ha evitado cometer, tanto a los defensores como a los detractores de la tesis, grandes errores lógicos y filosóficos.

Nuestro propósito aquí es volver a examinar la cadena de hipótesis causales a la luz de los descubrimientos de la ciencia moderna.

Examinemos la primera premisa del argumento: cada suceso tiene una causa. Como declara Clarke: «Nada puede ser más absurdo que suponer que algo es sin que exista absolutamente ninguna razón por la que deba ser en lugar de no ser.» Generalmente se supone que todo cuanto sucede está causado por otra cosa y que cada objeto que existe ha sido producido por algo previamente existente. Esto parece bastante razonable, pero... ¿es cierto?

En la vida diaria raramente dudamos de que todos los sucesos han sido causados de una u otra manera. Un puente se desmorona debido a un exceso de peso, la nieve se funde debido a que el aire la calienta, un árbol crece debido a que se plantó una semilla y así sucesivamente. ¿Ocurren sucesos sin ninguna causa?

Considérese la anterior afirmación "cada objeto que existe ha sido producido por algo previamente existente". ¿Es posible encontrar algo que nunca haya empezado a existir sino que haya existido siempre? Ciertamente, es posible concebir una cosa así: Por ejemplo, el espacio y el tiempo en el modelo del estado estacionario del Universo. ¿Tiene algún sentido preguntar si tiene una causa un objeto que haya existido eternamente? Pero además se podría preguntar "¿por qué existe?". La respuesta "porque siempre lo ha hecho" parece poco convincente. Dado que podemos imaginar perfectamente la no existencia del objeto, parece legítimo buscar la razón de que exista, independientemente de su edad infinita. Así, en opinión de algunos, la abolición de la Creación (como en el modelo del estado estacionario) no suprime la necesidad de justificar la existencia del Universo.

Apartándonos por un momento del tema de los objetos eternos, supongamos que nos restringimos a los objetos que surgen en algún momento. ¿Se puede crear algo de la nada? Hemos visto

que podían crearse partículas en el espacio vacío, pero en este caso la causa era una deformación del espacio. Todavía tenemos que explicar de dónde viene el espacio (si es que no ha existido siempre).

Algunos podrían poner en duda que el espacio sea una cosa. Ciertamente cuesta imaginarse a Leibniz o a Santo Tomás contemplando el espacio como una parte de la cadena causal. Pero sigamos adelante. ¿Qué fue lo que ocasionó la súbita aparición del espacio en el Big Bang? ¿La singularidad? La singularidad no es una cosa, sino más bien la frontera de una cosa (espacio-tiempo). En definitiva, se trata de un callejón sin salida.

¿Tiene cada suceso una causa? ¿Puede suceder algo sin ninguna acción previa o ninguna razón racional? A menudo la prensa airea con grandes titulares "objeto inexplicable en el cielo". Esto no quiere decir que haya fenómenos celestes que no tengan explicación, sino únicamente que no se conoce ninguna explicación. Desgraciadamente, es difícil encontrar un modo de rebatir la afirmación "cada suceso tiene una causa". Para hacerlo no basta con hallar un suceso sin ninguna causa aparente, sino que se debe ir más allá y demostrar que, por mucha información que se tenga sobre el Universo y por profunda que sea nuestra comprensión de la naturaleza, nunca se encontrará la causa. Esto parece ser una empresa imposible. ¿Cómo se puede estar seguro de que el suceso en cuestión no haya sido causado por algún proceso inesperado, totalmente oscuro y extremadamente raro que nunca se haya observado con anterioridad?

La ciencia que mejor ha refutado la reivindicación de que cada suceso tiene una causa es la física cuántica. Como veremos en el capítulo 8, en el mundo subatómico el comportamiento de las partículas es, en general, impredecible. No se puede estar seguro de lo que va a hacer una partícula en un instante. Si se elige como suceso la llegada de una partícula a un lugar particular, entonces, de acuerdo con la teoría cuántica, este suceso no tiene ninguna causa,

en el sentido de que es intrínsecamente impredecible. No importa cuánta información tengamos a nuestra disposición sobre las fuerzas y las influencias que actúan sobre la partícula: no hay modo de que su llegada a un punto particular pueda ser considerada como "fijada" por alguna otra cosa. El resultado es intrínsecamente aleatorio. La partícula aparece de pronto en aquel lugar a tontas y a locas.

Algunos físicos (una minoría) no han aceptado esta idea de buen grado. Einstein despachó el asunto en pocas palabras: «Dios no juega a los dados.» Estos físicos desearían que cada suceso estuviese causado por una u otra cosa, incluso en el plano subatómico. Por sorprendente que parezca, es posible realizar un experimento que demuestra que, a menos que las influencias puedan desplazarse a mayor velocidad que la luz, los sistemas atómicos son, en efecto, impredecibles; Dios juega a los dados. Esta afirmación, aunque sometida a la condición de que ninguna conspiración extraña de la naturaleza ha confundido los experimentos, parece estar sustentada sobre una sólida base.

Si se acepta que los sucesos cuánticos no tienen individualmente ninguna causa directa, ¿se puede decir entonces que la creación de materia, que es un ejemplo clásico de proceso cuántico, no tiene una causa física? En un sentido, sí. Cada partícula individual surgirá de una manera abrupta e impredecible, en algún instante y en algún lugar no especialmente predeterminado. Sin embargo, su comportamiento, aunque rebelde, se encuentra sometido a las leyes de la probabilidad. Para una distorsión del espacio de una intensidad particular puede ser muy probable que la partícula aparezca en un volumen dado de espacio y en un cierto intervalo de tiempo. Muy probable, pero no seguro. A la inversa, a pesar de que la probabilidad sea sumamente pequeña, es aún posible que tal partícula aparezca en su sala de estar. En el mundo cuántico estas cosas ocurren sin avisar. El hecho de que la

probabilidad de la creación de una partícula dependa de la intensidad de una distorsión del espacio-tiempo implica una especie de vaga causalidad. Esta distorsión hace que la aparición de la partícula sea más probable. El hecho de que se deba contemplar la existencia de una distorsión del espacio-tiempo como la causa de la aparición de la partícula es básicamente una cuestión semántica.

Se podría objetar que el tema central de la discusión es si el Universo tiene o no tiene una causa, y no si la creación de un electrón o su llegada a un cierto lugar tiene una causa. Algunos físicos replicarían sin duda que el Universo entero está sujeto también a los principios de la física cuántica, pero esto nos llevaría al tema de la controvertida cosmología cuántica, la cual se enfrenta con sus propios problemas de autoconsistencia (una discusión más profunda queda aplazada hasta el capítulo 16, donde hablaré de un marco cuántico que podría resolver el problema del origen del Universo). Aceptando por ahora que, a pesar de la teoría cuántica, el Universo debe tener una causa, todavía queda por preguntarse si esta causa es Dios.

En este punto vamos a examinar la segunda premisa del argumento cosmológico: no puede haber una cadena infinita de causas. La cadena debe detenerse en alguna parte. Las galaxias se forman a partir de nebulosas turbulentas, las nebulosas se forman a partir de nubes primitivas de hidrógeno, el hidrógeno se forma a partir de los protones creados en los primeros instantes después de la gran explosión, los protones se crean a partir de distorsiones del espacio-tiempo. Siempre se ha supuesto que esta sucesión debía tener un primer elemento. Santo Tomás de Aquino escribió:

En el mundo observable las causas se encuentran ordenadas en series; nunca observamos, ni podríamos hacerlo, un suceso que se cause a sí mismo, porque esto querría decir que tal suceso se precedería a sí mismo y tal cosa no es posible. Sin embargo, esta serie de causas debe tenerse en

algún momento; en la serie, un suceso anterior es la causa de un suceso intermedio y el intermedio es la causa del último (sea el suceso intermedio uno o muchos sucesos). Si se elimina una causa se eliminan a su vez sus efectos, de manera que nunca se puede tener una última causa ni una intermedia a menos que se tenga una primera. Por tanto, si no existe un fin en la serie de causas, si no existe una primera causa, no habrá tampoco causas intermedias y, en consecuencia, no habrá efecto final, lo cual es una contradicción. Uno se ve forzado, pues, a suponer alguna causa primera, a la que todos llaman "Dios".

Cuando Santo Tomás o Clarke argumentaban en contra de una cadena infinita de causas y efectos no lo hacían sobre la base de que la cadena fuera infinita como tal. En efecto, ambos pensadores desarrollaron sus argumentos en el contexto de un Universo eterno, de edad infinita, contentándose en basar la evidencia de la Creación en la "revelación divina" en lugar de en un discurso racional. Más bien la objeción parecía ser que una cadena de causas y efectos que abarcase todo el Universo sería supuestamente imposible.

Si consideramos tal progresión infinita... está claro que la existencia de esta serie completa de seres no puede no estar causada a partir de la nada, porque en ella se supone que están incluidas todas las cosas que son o fueron en el Universo y está claro que dentro de sí misma no está la razón de su existencia; porque nadie que esté en esta sucesión infinita puede existir independientemente de otro ser o causa... sino que cada uno depende de su predecesor... Una sucesión infinita por tanto de seres meramente dependientes, sin ninguna causa original independiente, es una serie de seres que no tiene necesidad, ni causa... tanto dentro de sí misma como desde fuera: Es decir, es una expresa contradicción e imposibilidad.

La creencia de que una sucesión infinita de "seres dependientes" (más precisamente una cadena infinita de causas y efectos) necesita una explicación de su existencia (que no se puede

encontrar cuando esta cadena incluye todas las cosas que existen) ha sido agudamente atacada por varios filósofos, especialmente Hume y Russell. En un famoso debate en la B.B.C. con el padre Copleston, Russell ilustraba su punto de vista de esta forma: «Cada hombre tiene una madre... pero evidentemente la raza humana no tiene una madre.» En resumen, con tal que se explique cada miembro individual de la sucesión, entonces, piso facto, la sucesión está explicada. Y como cada miembro de la cadena debe su existencia a algún miembro o miembros que le preceden, cada miembro de la cadena infinita está explicado. Preguntarse por la causa del Universo entero es de una categoría lógica distinta a preguntarse por la causa de un objeto o un suceso individual dentro del Universo.

De hecho, el tema de los "conjuntos de conjuntos" es notoriamente resbaladizo. Si un conjunto se define inofensivamente como una colección de objetos (concretos o abstractos), entonces, como mostrara Russell mediante su famosa paradoja, un conjunto de conjuntos ¡puede muy bien no ser un conjunto! Así, podemos considerar como un conjunto un catálogo de todos los libros de una biblioteca. Pero ¿está el catálogo mismo incluido en la lista? Algunas veces lo está. Vamos a llamar estos catálogos del "tipo I" y los otros, los que no se incluyen a sí mismos, "tipo II". Ahora vamos a considerar como un conjunto de conjuntos un catálogo general en la biblioteca central. Su función es dar una lista de todos los catálogos del tipo II que constituyen un conjunto de catálogos. Hasta aquí todo parece correcto, pero no lo es. El conjunto de los catálogos del tipo II es paradójico, como se puede ver cuando formulamos la pregunta ¿el catálogo general es del tipo I o del tipo II? Si es del tipo II, entonces no se incluye a sí mismo. Pero el catálogo general se ha definido como una lista de los catálogos autoexcluyentes (tipo II). Por tanto está en la lista; es del tipo I. Pero esto no puede ser, porque el catálogo general sólo da una relación de los catálogos del tipo II,

por tanto no se puede incluir a él mismo en la lista si es del tipo I. Por consiguiente, no está incluido en la lista; es del tipo II. Se llega por tanto a una contradicción.

Es evidente que el concepto entero del Universo de las cosas existentes es un concepto sutil. No está claro que el Universo sea una cosa y si se define como un conjunto de cosas se corre el riesgo de caer en paradojas. Aquellos que se aventuran a razonar lógicamente sobre la existencia de Dios como causa de todas las cosas deben enfrentarse a estas paradojas.

Aun admitiendo que el Universo tiene una causa, existe una dificultad lógica en atribuir esta causa a Dios, porque entonces cabría preguntarse qué causó a Dios. Generalmente la respuesta a esta pregunta es que "Dios no necesita causa". Él es un ser necesario cuya causa se debe de encontrar dentro de Sí mismo. Por consiguiente, el argumento cosmológico, que se fundamenta en la hipótesis de que cada cosa requiere una causa, acaba llegando a la conclusión de que existe al menos una cosa (Dios) que no requiere una causa. El argumento parece ser contradictorio. Además, si uno está dispuesto a admitir que Dios puede existir sin una causa externa, ¿por qué ir tan lejos en la cadena? ¿Por qué no puede existir el Universo sin necesidad de una causa externa? ¿Acaso se requiere mayor credulidad para suponer que el Universo se causa a sí mismo que suponer que Dios se causa a Sí mismo?

Si hemos de detenernos en Dios, ¿por qué haber ido tan lejos? ¿Por qué no detenernos en el mundo material?... Si admitimos que contiene el principio de su orden dentro de sí mismo, estamos sosteniendo realmente que se trata de Dios.

Esta cita de Hume nos hace pensar en la creencia un tanto vaga compartida por muchos científicos de que Dios es la naturaleza" o que "Dios es el Universo".

Quizá la objeción más seria, sin embargo, a la versión causal del argumento cosmológico esté en el hecho de que causa y efecto

son conceptos que están profundamente vinculados a la noción de tiempo. Sin embargo, tal como hemos visto, la cosmología moderna nos dice que la aparición del Universo supuso la aparición misma del tiempo. Se acepta generalmente que la causa siempre precede al efecto en el tiempo: por ejemplo, un blanco se hace añicos después de que hayamos disparado el arma. Por tanto, no tiene ningún sentido hablar de un Dios creador del Universo en el sentido causal habitual, puesto que la Creación lleva consigo la creación del tiempo mismo. Si no había "antes" no puede haber una causa (en el sentido habitual del término) del Big Bang, ni natural ni sobrenatural.

San Agustín (354-430) se dio cuenta de esta dificultad y ridiculizó la idea de un Dios esperando durante un tiempo infinito hasta decidir, en un momento propicio, crear el Universo. Escribió que «el mundo y el tiempo tuvieron ambos un comienzo». El mundo fue creado, no en el tiempo, sino simultáneamente con el tiempo.

Esto constituye una notable anticipación a la cosmología moderna, sobre todo considerando las erróneas ideas del espacio y el tiempo que se tenían en la época de San Agustín.

Sin embargo, esta profunda interpretación del Génesis fue puesta a prueba en el siglo XIII, cuando la Iglesia cayó bajo la influencia del pensamiento de la antigua Grecia. En la controversia subsiguiente, el cuarto Concilio Ecuménico de Letrán (1215), al refutar la filosofía aristotélica de un Universo de edad infinita, insistió en que, como dogma de fe cristiana, el Universo tuvo un comienzo en el tiempo. No obstante, todavía en nuestros días los teólogos están divididos sobre la interpretación del libro del Génesis.

El problema que se presenta al postular un Dios que transciende al tiempo es que con ello pierde muchas de las cualidades que habitualmente se atribuyen a Dios, cualidades que sólo tienen sentido dentro de un contexto temporal. Se considera que Dios puede hacer planes, responder a las oraciones, expresar

placer o ansiedad por el curso del progreso humano, sentarse a juzgar los actos humanos. Dios está continuamente activo en el mundo "lubricando los engranajes de la máquina cósmica". Todas estas actividades no tienen evidentemente ningún sentido excepto en un contexto temporal. Dios no puede actuar excepto en el tiempo. ¿Por qué, entonces, si Dios transciende el tiempo y, por tanto, conoce el futuro, está preocupado por el progreso humano o la lucha contra el mal? El resultado ya debería ser conocido para El (volveremos a este tema en el capítulo 9).

De hecho, la misma creación del Universo es, como ya hemos visto, un acto que tiene lugar en el tiempo. Cuando doy conferencias sobre cosmología se me pregunta a menudo qué sucedió antes del Big Bang. La respuesta de que no había "antes" porque el tiempo mismo fue creado en el Big Bang se contempla con recelo: "¡Algo debe haberlo causado!" Sin embargo, causa y efecto son conceptos temporales y no pueden ser aplicados a un estado en el que el tiempo no existe; la pregunta simplemente no tiene sentido.

Si el tiempo tuvo realmente un principio, cualquier intento de explicarlo en términos causales debe apelar a una más amplia concepción del término "causa" que la que nos es familiar en la vida cotidiana. Una posibilidad es reducir la necesidad de que la causa preceda siempre al efecto. ¿Es posible que una causa actúe hacia atrás en el tiempo para producir un efecto anterior? Desde luego, la idea de cambiar el pasado está llena de paradojas. Supongamos, sin ir más lejos, que pudiéramos modificar los sucesos del siglo XIX de manera que evitáramos nuestro propio nacimiento. A pesar de todo, hay un número de teorías en la física moderna que tienen que ver con la causalidad retroactiva. Unas partículas hipotéticas más rápidas que la luz (llamadas taquiones) podrían conseguirlo. Para evitar las paradojas se puede suponer que el vínculo entre causa y efecto es muy vago e incontrolable o, por el contrario, que es de un tipo más sutil. Como veremos, la teoría cuántica requiere una

especie de causalidad temporal reversible, en la medida en que una observación realizada hoy pueda contribuir a la construcción de la realidad en un pasado remoto. El físico John Wheeler ha hecho hincapié en esta idea: «El principio cuántico demuestra que, en algún sentido, lo que haga un observador en el futuro determina lo que sucedió en el pasado, incluso en un pasado tan remoto que la vida no existía.»

Wheeler introduce la mente ("el observador") de una manera fundamental, como estamos obligados a hacerlo en la teoría cuántica, y relaciona la existencia de la mente en un estado posterior de la evolución cósmica con la misma creación del Universo:

¿Tiene que ser el propio mecanismo de la existencia del Universo algo sin sentido o inviable, o ambas cosas, a menos que el Universo tenga la garantía de producir vida, conciencia y observación en alguna parte y durante algún breve instante de su historia futura?

Wheeler espera que podamos descubrir, en el campo de la física, un principio que permita que el Universo surja "de motu proprio". En su búsqueda de una teoría así, señala: «Ningún principio fundamental sería más potente que uno que ofreciera un medio de originar el Universo.» Wheeler ha comparado este Universo "auto-causado" con un circuito autoexcitado en electrónica.

Aunque fuera posible encontrar la causa de la creación del espacio-tiempo en alguna actividad natural posterior (sea mente o materia) , es difícil comprender cómo la creación a partir de la nada pudo ocurrir de un modo natural. Deberíamos explicar todavía el origen de la "materia prima" de la mente o lo que fuere que actúa retroactivamente. Wheeler sugiere que el espacio y el tiempo son estructuras sintéticas hechas de "pedazos" elementales a los que denomina pregeometría. Muchos otros físicos han sugerido que el espacio y el tiempo no son conceptos fundamentales, sino aproximaciones. Del mismo modo que la materia es aparentemente

continua pero está, de hecho, compuesta de átomos, así el espacio-tiempo podría estar constituido por entes más primitivos y más abstractos. Éste podría ser uno de los resultados del intento de encontrar una teoría cuántica de la gravitación (siendo la gravedad meramente una geometría del espacio-tiempo). Bajo condiciones físicas extremas, tales como las que se produjeron en los primeros instantes después del Big Bang, el espacio-tiempo podría "desmontarse" y dejar sus componentes internos a la vista. El Big Bang podría haber sido el suceso en que los "engranajes" se engarzaron coherentemente y se organizaron en un espacio-tiempo aparentemente continuo. De acuerdo con este punto de vista, el Big Bang fue el origen del espacio, del tiempo y de la materia, pero no el límite de la física: más allá del Big Bang (no "antes", porque no hubo un "antes") quedaban los "engranajes" desorganizados (cosas físicas pero no en el espacio y el tiempo).

Antes de abandonar el tema de la Creación, debemos considerar la posibilidad de que el Universo tenga una causa pero que esta causa no sea Dios. Como ya hemos mencionado, el argumento cosmológico pretende también establecer que el creador cósmico debe ser, en efecto, Dios. Sin embargo, los descubrimientos de la física moderna han abierto nuevas posibilidades que los defensores del argumento cosmológico nunca hubieran podido soñar.

En el capítulo anterior se explicó cómo la creación de materia se interpreta adecuadamente en términos del espacio en expansión. Además, la elasticidad del espacio parece no tener límite. La más diminuta región se puede expandir hasta el infinito. Una mil millonésima de segundo después de la creación, el Universo observable actual (todos los mil millones de billones de años luz cúbicos del mismo) estaban comprimidos en un volumen del tamaño del sistema solar. En los instantes anteriores ocupaba un volumen más pequeño aún. De ahí que el espacio pueda provenir de

la nada y que la materia pueda surgir del espacio. A pesar de todo, se intuye que debe haber algo capaz de impulsar una gota infinitesimal de espacio en el camino de la explosión expansiva y es aquí donde volvemos a encontrar las singularidades, causalidad y demás.

Nuestro Universo de espacio y materia admite, sin embargo, otra explicación, que vulgarmente se conoce con el apodo de «el Universo reproductor». Puede describirse con la siguiente analogía: Como el espacio es elástico, imaginémoslo representado por una lámina elástica. (La lámina es bidimensional, mientras que el espacio es tridimensional. No obstante, no existe pérdida de generalidad. Lo que se va a describir funciona también en tres dimensiones, pero en este último caso no se puede visualizar.)

La figura 5 muestra una secuencia de pasos. En primer lugar se forma una pequeña burbuja en la lámina. Luego se hincha, manteniendo bien apretado el "cuello" de la misma en el lugar donde se une a la lámina. Cuando la burbuja adquiere las características de un globo, se retuerce su cuello hasta que se cierra por completo. Finalmente se corta el cuello, el globo se libera y la lámina de goma recobra su forma continua. La lámina ha dado a luz una nueva lámina totalmente separada e independiente (el globo), que puede continuar inflándose hasta el infinito. Si se quiere, este nuevo globo se puede usar para producir otros globos.

Si concebimos nuestro Universo (todo el espacio al que tenemos acceso físico) como el "nuevo globo", entonces ocurre que este Universo no ha existido desde siempre: fue creado. Sin embargo, su creador es explicable en el marco de los procesos físicos; es un mecanismo de creación procedente de la "lámina madre". La lámina no nos es totalmente inaccesible, aunque esté más allá de nuestro espacio-tiempo. Así, aunque no podamos encontrar la causa de nuestro Universo en su mismo interior, Dios no interviene en ningún momento.

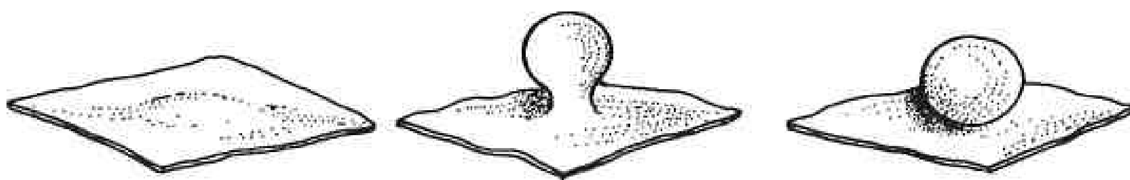


Fig. 5. La elasticidad del espacio postulada por la teoría general de la relatividad permite la formación y la posterior separación de un "Universo hijo" (burbuja) a partir del "Universo padre" (lámina). Algunas teorías recientes admiten cambios topológicos de este tipo, cambios que, no obstante, no comprendemos muy bien.

La característica esencial de esta idea es que lo que normalmente se entiende como "el Universo" podría, de hecho, no ser más que un fragmento separado de espacio-tiempo. Podría haber muchos, incluso un número infinito de universos, todos ellos físicamente inaccesibles a los demás. Con esta definición de "Universo", la explicación de nuestro Cosmos no se encuentra en sí mismo, sino más allá. Con esta definición, Dios no es necesario. Basta el espacio-tiempo y un mecanismo físico un tanto exótico.

Este mecanismo se ha intentado explicar recientemente en varios estudios teóricos. Bajo condiciones de calor y temperatura extremas es concebible que el espacio sea suficientemente inestable como para "engendrar" otros "globos" de esta forma. Es posible incluso concebir una comunidad tecnológica suficientemente avanzada maquinando la creación de nuevos universos. No obstante, los puristas objetarán con seguridad que esta hipótesis de la Creación no es más que una pseudoexplicación, dado que no tiene en cuenta la totalidad de "láminas y burbujas". Con todo, el ejemplo nos sirve para ilustrar que lo que en principio podemos percibir en nuestro Universo puede haber sido creado por causas naturales hace un tiempo finito y que lo que permanece (si es que hay algo) fuera

de nuestro espacio-tiempo puede no ser completamente sobrenatural.

¿En qué ha contribuido, pues, este análisis a nuestra búsqueda de un Dios Creador? El argumento de que debe existir una causa primera está abierto a serias críticas si partimos de una noción simplista de causalidad, independientemente de que el Universo tenga una edad infinita o de que haya tenido un comienzo definido en el tiempo. Algunos mecanismos causales, como los que se estudian en física cuántica, pueden hacer desaparecer la necesidad de una primera causa de la Creación. Sin embargo, nos queda una cierta impresión de incomodidad. El teólogo Richard Swinburne escribió:

Sería un error suponer que aunque la edad del Universo fuese infinita y que cada estado del Universo en cada instante de tiempo tuviera una explicación completa en términos de un estado previo del Universo y de las leyes naturales (y por tanto sin invocar a Dios), que entonces la existencia del Universo a lo largo de un tiempo infinito tendría una completa explicación. No tiene ninguna explicación. El Universo es totalmente inexplicable.

Para ilustrar esta idea, supóngase que los caballos han existido siempre. La existencia de cada caballo se explicaría causalmente por la existencia de sus padres. Pero no estaría explicada en absoluto la existencia de los caballos. ¿Por qué tiene que haber caballos en lugar de unicornios, por ejemplo? Aunque podamos hallar una causa para cada suceso (cosa muy poco probable en vista de los resultados de la física cuántica), todavía nos quedaría el misterio de por qué el Universo es como es, o, en definitiva, cuál es la razón de su existencia.

IV. ¿POR QUÉ EXISTE EL UNIVERSO?

«Hay una razón en la naturaleza de la existencia de cada cosa.»
LEIBNIZ

«Cuanto más comprensible, más sin sentido parece el Universo.»
STEVEN WEINBERG

La idea de un Dios creador del Universo está firmemente enraizada en la cultura judeocristiana. Sin embargo, hemos visto como la idea, discutida por los teólogos durante siglos, introduce más problemas de los que resuelve. La dificultad proviene de la naturaleza del tiempo. En la actualidad sabemos que el tiempo está inseparablemente ligado al espacio y que el espacio-tiempo es una parte integrante del Universo físico como lo es la materia. Como veréis en el capítulo 8, el tiempo tiene sus propias leyes de cambio de conducta, leyes que pertenecen al campo de la física.

Si el tiempo forma parte del Universo físico y, por tanto, está jeto a las leyes de la física, debemos incluirlo en el Universo supuestamente creado por Dios. Pero, ¿qué quiere decir que Dios *usó* el tiempo, si, de acuerdo con nuestra idea usual de la causalidad, la causa debe preceder a su efecto? Causar es una actividad temporal. Debe haber tiempo antes de que nada pueda ser causa. La idea ingenua de un Dios existente *antes* del Universo es manifiestamente absurda si no había tiempo, si no había "antes".

Como hemos visto, estas dificultades ya se hicieron patentes para San Agustín en el siglo V. Fueron articuladas un siglo después por Boecio y desarrolladas en un concepto de "creación" mucho más abstracto y sutil que el habitual. De acuerdo con este refinado punto de vista, Dios existe enteramente fuera del espacio y del tiempo; en cierto sentido está "por encima" de la naturaleza y no antes que ella. El concepto de un Dios atemporal no es un concepto fácil de entender y, en consecuencia, voy a posponer una discusión más profunda de este tema hasta el capítulo 9, donde hablaremos de la naturaleza del tiempo con mayor profundidad.

El Dios que permanece fuera del tiempo se contempla "creando" el Universo en el sentido más potente de "manteniéndolo existente a cada instante". En lugar de iniciar el Universo (una creencia conocida como deísmo en contraposición a teísmo), el Dios atemporal actúa en cada momento. De esta forma, el remoto

Creador adquiere una mayor inmediatez (está actuando aquí y ahora) a expensas, en cambio, de una mayor oscuridad, pues la idea de un Dios que se encuentra por encima del tiempo es muy sutil.

Los papeles contrapuestos de un Dios en el tiempo que causa la Creación y de un Dios atemporal que mantiene el Universo (incluyendo al tiempo) en funcionamiento, se ilustran a veces esquemáticamente de la siguiente manera. Imagínense una sucesión de sucesos tales que cada uno depende causalmente del que le precede. Se pueden representar por la serie …S_3, S_2, S_1, que se extiende hacia atrás en el tiempo. S_1 está causado por S_2, el cual a su vez está causado por S_3, y así sucesivamente. Esta cadena causal se puede representar de la siguiente forma:

$$\ldots \rightarrow S_4 \overset{L}{\rightarrow} S_3 \overset{L}{\rightarrow} S_2 \overset{L}{\rightarrow} S_1$$

donde las "L" subrayan que un suceso es el causante del siguiente a través de la acción de las leyes de la física, L.

El concepto de un Dios causal (que consideramos con detalle en el capítulo anterior) se puede ilustrar colocando a Dios, representado por una D, en el origen de esta cadena causal:

$$D \rightarrow \ldots \rightarrow S_4 \overset{L}{\rightarrow} S_3 \overset{L}{\rightarrow} S_2 \overset{L}{\rightarrow} S_1$$

Por el contrario, si Dios está fuera del tiempo, no puede pertenecer a esta cadena causal en absoluto. Se encuentra por encima de la cadena, sustentando cada eslabón:

$$\begin{array}{ccccccc} & & D & & D & & D \\ & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \ldots \rightarrow S_4 & & \overset{L}{\rightarrow} & S_3 & \overset{L}{\rightarrow} & S_2 & \overset{L}{\rightarrow} S_1 \end{array}$$

y esta imagen se puede aplicar tanto si la cadena causal tiene un primer miembro (esto es, un comienzo en el tiempo) como si no lo tiene (como en un Universo de edad infinita.) De acuerdo con esta imagen, Dios no es tanto la causa del Universo como su *explicación.*

Estas ideas no son fáciles de asimilar. Las leyes de la física se nos muestran como regularidades en el comportamiento de las cosas: el movimiento preciso de los planetas en sus órbitas, las líneas

del espectro de un elemento químico, etc. Cuando apretamos el pedal del freno de un coche en movimiento esperamos que disminuya su velocidad; cuando prendemos fuego a un barril de pólvora esperamos que explote. Esperamos que una llama derrita un bloque de hielo o que un vaso de cristal se rompa en mil pedazos al chocar contra el suelo. El mundo no es casual y caótico sino, hasta cierto punto, predecible y ordenado.

Desde nuestra perspectiva limitada dentro del espacio-tiempo, interpretamos estas regularidades en términos de causa y efecto. Por ejemplo, la fuerza gravitatoria que el Sol ejerce sobre la Tierra es la causa de que la Tierra gire en torno a él. Así podríamos encontrar multitud de ejemplos. Sin embargo, hay otra posibilidad, y es que cada suceso esté, de hecho, causado por un Dios que actúa en nuestro Universo desde el exterior, disponiendo cuidadosamente los sucesos de modo que muestren estas regularidades.

Podemos servirnos de una analogía útil. Imaginemos que disparamos con una ametralladora contra una pantalla de forma que la barremos de un lado a otro a ritmo constante. El resultado final es una disposición de agujeros de bala igualmente espaciados. Una criatura de dos dimensiones obligada a vivir en el mundo plano de la pantalla percibiría esta sucesión de sucesos como la aparición regular de agujeros en su mundo. Mediante una cuidadosa observación, podría deducir que los agujeros no se formaban al azar, sino periódicamente, y que se disponían geométricamente de una forma sencilla con separaciones iguales. Esta criatura proclamaría una nueva ley de la física plana: la ley de la creación de los agujeros. Deduciría que la aparición de cada agujero *causaba* la aparición del siguiente en la fila de una manera regular. Después de todo, cada agujero estaría seguido de otro en una sencilla sucesión. Desde la perspectiva limitada de su mundo de dos dimensiones, la criatura plana no podría apercibirse del hecho de que los agujeros son, en realidad, *completamente independientes* unos de otros y que la

regularidad en su disposición se debe únicamente a la actividad de la ametralladora. De la misma forma, el funcionamiento ordenado del Cosmos podría explicarse diciendo que Dios crea cada suceso en el espacio-tiempo de una manera organizada, desde una perspectiva más amplia que podría ser un espacio de más dimensiones, una estructura física distinta del espacio u otra clase de estructura no física.

¿Cuál es la justificación de esta creencia? Si miramos alrededor vemos la compleja estructura del Universo y observamos su elaborada organización. Vemos la complejísima formulación matemática de las leyes de la física. Nos quedamos perplejos ante la disposición de la materia, desde las galaxias en rotación hasta la actividad febril en el interior del átomo. Por tanto, es lícito preguntarse por qué las cosas son así. ¿Por qué hay precisamente *este* Universo, *este* conjunto de leyes, *esta* disposición de la materia y la energía? En definitiva, ¿por qué existe cada cosa?

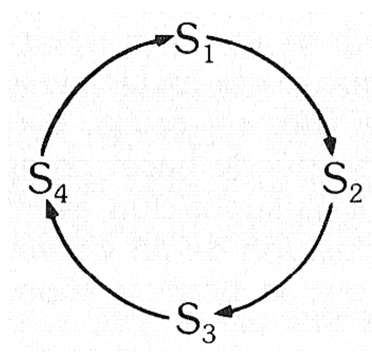
Cualquier cosa y cualquier suceso en el Universo físico debe explicarse a partir de algo fuera de sí mismo. Cuando se explica un fenómeno, se explica en términos de *otra cosa.* Pero si se trata del fenómeno de la existencia del Universo físico entero, no existe nada *físico* fuera del mismo (por la misma definición de Universo) que lo explique. De modo que cualquier explicación debe darse en términos de algo no físico y sobrenatural; a decir, de Dios. El Universo es como es porque Dios ha *elegido* que sea de este modo. La ciencia, que por definición se ocupa sólo del Universo físico, puede explicar con éxito una cosa en términos de otra y ésta en términos de otra distinta y así sucesivamente; pero la totalidad de las cosas físicas debe explicarse desde *fuera.*

Esta línea de razonamiento, que parte de la suposición según la cual cada cosa física depende de otras, se conoce como el argumento de la contingencia y es la segunda versión del argumento cosmológico en favor de la existencia de Dios. Está

abierto a algunas de las críticas que hemos hecho a la otra versión del argumento cosmológico (el argumento causal considerado en el capítulo anterior).

Este argumento de la contingencia fracasa, en un sentido, víctima de su propio éxito, puesto que supone ampliar la definición de "Universo" para incluir a Dios. ¿Cuál es, entonces, la explicación del sistema total compuesto por Dios más el Universo físico del espacio, el tiempo y la materia? En resumen, ¿qué es lo que explica a Dios? El teólogo responde: «Dios es un ser *necesario* que no tiene necesidad de explicación; Dios contiene en Sí mismo la explicación de su propia existencia.» Pero, ¿quiere esto decir algo? Y si es así, ¿por qué no podemos usar el mismo argumento para explicar el Universo? En efecto, podríamos aducir igualmente que el Universo es *necesario* y que contiene dentro de sí mismo la razón de su existencia. Ésta, efectivamente, parece ser la posición de Wheeler que describimos en el capítulo anterior.

La idea de un sistema físico que contiene su propia explicación puede parecer paradójica, pero es una idea de la que existen algunos precedentes en la física. Aunque admitamos (ignorando los efectos cuánticos) que cada suceso es contingente y depende para su explicación de algún otro suceso, no hay razón para concluir que esta serie debe continuar indefinidamente o que deba tener su origen en Dios, sino que puede tratarse de un bucle cerrado. Por ejemplo, los siguientes cuatro sucesos, u objetos, o sistemas pueden tener la siguiente relación de dependencia:



Una teoría de este estilo se hizo muy popular entre los físicos de partículas que intentaban explicar la estructura de la materia. He aquí una explicación en cadena: la materia está compuesta de moléculas, las cuales están compuestas de átomos, que a su vez están compuestos de electrones y núcleos y estos últimos están compuestos de protones y neutrones. Desde los griegos, se ha supuesto que esta cadena explicativa tiene un fin, es decir, que debe haber un pequeño número de partículas verdaderamente elementales que no tengan partes internas y que constituyan los bloques estructurales de toda la materia. Tarde o temprano, de acuerdo con esta tesis, cuando podamos sondear en regiones aún más pequeñas dentro del átomo, se acabarán descubriendo estas partículas fundamentales sin estructura. En la actualidad esta teoría cuenta con un fuerte apoyo experimental en el marco de la llamada teoría de los quarks (ver cap. 11).

Una imagen alternativa, permitida por las extrañas propiedades de la teoría cuántica, es que, en cierto sentido, no existen en absoluto partículas elementales (esto será comentado en posteriores capítulos). Por el contrario, cada partícula (al menos cada partícula subnuclear) está hecha a partir de las demás. Ninguna partícula es elemental o primaria, sino que cada una contiene algo de la identidad de todas las restantes. La idea de un sistema de partículas que se crean unas a otras recuerda la historia del muchacho que cayó en una ciénaga y consiguió salir de la misma tirando de las correas de sus propias botas. De este modo, podemos concebir un Universo que contiene su propia explicación en términos de interacciones físicas naturales.

El teólogo replicará que, dado que Dios es infinitamente poderoso e infinitamente sabio, y, por tanto, el ser *más simple* imaginable, es mucho más probable que contenga en sí mismo la razón de su propia existencia que lo haga el Universo, el cual es *complicado* y *especial* en sus distintas características particulares:

Es muy poco probable que exista un Universo sin causa, pero es mucho más probable que exista un Dios sin causa. La existencia del Universo es extraña y desconcertante. Se puede hacer comprensible si se supone que ha sido causado por Dios. Esta suposición asume un principio de explicación más sencillo que la suposición de un Universo sin ninguna causa y da fundamento para suponer que la primera suposición es correcta.

Esta réplica es muy convincente. Cuesta creer que este intrincado Universo exista por simple casualidad y es difícil aceptar que la razón de la existencia del mismo sea un hecho inexplicable. En cambio, una mente única, simple e infinita (a pesar de que la razón lógica de su existencia nos pueda dejar confusos) parece decididamente un candidato mucho más plausible para algo que deba existir por necesidad.

Algunos científicos, sin embargo, ponen en duda la afirmación de que una mente infinita (Dios) sea más sencilla que el Universo. Sabemos por experiencia que la mente sólo se da en aquellos sistemas físicos que están por encima de un cierto umbral de complejidad. El cerebro es un sistema tremendamente sofisticado. (En el capítulo 6 veremos que la mente es un concepto "holístico", es decir, una forma de actividad.) Si bien es posible imaginar una mente sin cuerpo, debe haber algún medio de expresión de su actividad, que ha de ser necesariamente complicada. De modo que se podría aducir que una mente infinita es infinitamente compleja y, en consecuencia, su aparición espontánea mucho *menos* probable que la de un Universo, muchas de cuyas partes son demasiado poco complejas para estructurar una mente.

Quizá, pues, Dios no sea una mente sino algo mucho más simple. En cualquier caso, cabe preguntarse si tiene sentido hablar de una mente que existe fuera del tiempo. ¿No son los pensamientos y decisiones cosas que tienen lugar en el tiempo? Si Dios no puede *decidir* (o esperar, o juzgar, o conversar), entonces ¿en qué sentido es

responsable de la naturaleza y de la existencia del Universo? ¿Podemos reconocer a Dios en un ser de estas características? Pero además de estos interrogantes, todavía nos queda por justificar la complejidad y especifidad del Universo. ¿Por qué *este* Universo?

Esta cuestión será tratada más a fondo en el capítulo 12. Sin embargo, me gustaría señalar aquí lo que, en mi opinión, constituye el factor esencial cuando se juzga la verosimilitud de un Universo autoconsistente en contra de un Universo para cuya explicación se apela a Dios. En la discusión anterior se dio por sentado que el Universo es muy complicado y que Dios proporciona una rápida explicación de sus características, pero ¿ha sido siempre el Universo complicado? Podría suceder que esta complejidad hubiera surgido de manera perfectamente natural a consecuencia de las leyes físicas ordinarias.

De acuerdo con lo que dice la ciencia acerca del Universo primigenio, parece como si el Universo hubiera empezado en el estado más simple posible (el equilibrio termodinámico), apareciendo posteriormente las complejas estructuras actuales. Se puede aducir, entonces, que el Universo primitivo es, de hecho, la cosa más simple que pueda imaginarse. Además, si la predicción de la singularidad inicial se da como válida, el Universo empezó en un estado de temperatura infinita, densidad infinita y energía infinita. ¿No es esto tan plausible como una mente infinita?

El éxito del argumento anterior depende de manera crucial de que pueda demostrarse que el orden y la complejidad cósmica han surgido espontáneamente a partir de un estado primitivo simple. A primera vista, esto parece estar en flagrante contradicción con la segunda ley de la termodinámica, que exige justamente lo contrario, es decir, que el orden dé lugar al desorden de manera que las estructuras complejas tiendan a descender hacia un estado final de desorganizada simplicidad. E. W. Barnes escribió en los años 30:

Al principio debió haber una máxima organización de energía... De hecho, hubo un tiempo en que Dios dio cuerda al reloj (al mecanismo cósmico) y vendrá un tiempo en el que, si Dios no le da cuerda de nuevo, se detendrá.

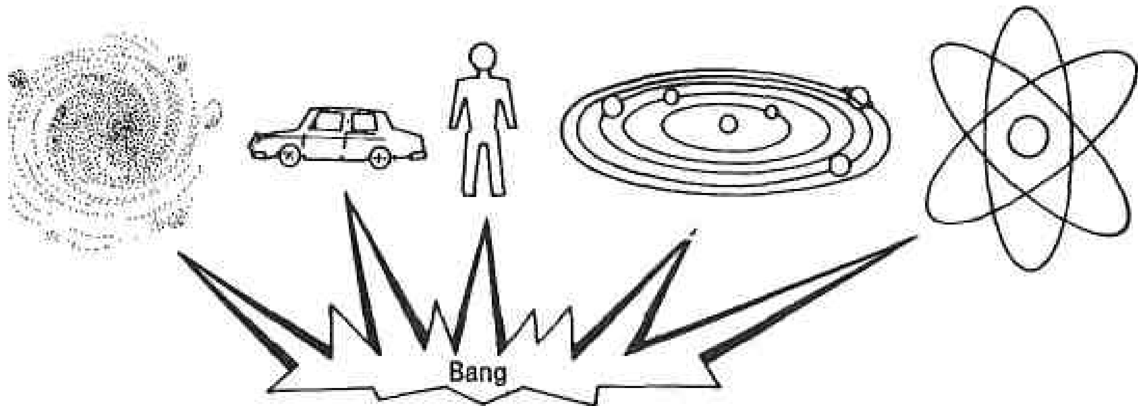


Fig. 6. No sabemos cómo surgió el orden en el caos del Universo. Las ordenadas estructuras actuales y la compleja actividad presente proceden de los fermentos amorfos del *Big Bang*, en aparente contradicción con la segunda ley de la termodinámica, según la cual el orden debe decrecer —y no aumentar— con el tiempo. La solución de esta paradoja quizá haya que buscarla en las peculiares propiedades de la gravedad.

Sabemos en la actualidad que esto no es cierto. El estado primitivo no fue un estado de máxima organización, sino de simplicidad y equilibrio. El conflicto aparente con la segunda ley de la termodinámica no ha sido resuelto hasta hace muy poco tiempo.

El problema estriba en que la segunda ley se debe aplicar estrictamente a los sistemas aislados. No obstante, es físicamente imposible aislar algo de la gravedad (no existen blindajes antigravitatorios y, aun en el caso de que existieran, el sistema en cuestión no podría escapar a su propia gravedad). En el Universo en expansión, el material cósmico se encuentra bajo la influencia del campo gravitacional cosmológico creado por el material del resto del Universo. Este campo gravitacional posibilita la ordenación de la

materia. Es un hecho conocido que suministrando energía a un sistema es posible introducir orden en el mismo a expensas de la creación de desorden en otro sistema. Por ejemplo, el calor y la luz procedentes del Sol hacen posible el complejo y altamente evolucionado orden de la biosfera terrestre, pero únicamente a cambio de sacrificar irreversiblemente las reservas limitadas de combustible del Sol. De un modo parecido, un Universo en expansión puede generar orden en el material cósmico.

Vamos a ver un ejemplo muy sencillo de cómo se puede reemplazar a un Dios que "da cuerda al reloj" por la expansión del Universo. Ya he mencionado que la sustancia cósmica primitiva estaba muy caliente y que la expansión del Universo la hizo enfriarse. En la actualidad, los astrofísicos son capaces de calcular la temperatura de esta sustancia cósmica en diversas fases de la expansión. La temperatura depende hasta cierto punto de la naturaleza de la sustancia. En el caso del calor de radiación (energía electromagnética), la temperatura decrece proporcionalmente al aumento de volumen (si se dobla el volumen, la temperatura se reduce a la mitad). Por otro lado, las sustancias materiales, como el hidrógeno, se enfrían mucho más deprisa (proporcionalmente al cuadrado del volumen). Esto implica que al disociarse el hidrógeno y el calor de radiación se establece una diferencia de temperaturas en el Universo en expansión. Como cualquier estudiante de física sabe, de una diferencia de temperaturas se puede obtener una fuente de energía útil. Aquí radica, en esencia, el secreto de la capacidad del Sol para generar vida en la Tierra. De este modo, la expansión del Universo es capaz de crear orden donde nunca lo hubo.

Por medio de análisis de este tipo, es posible determinar el origen de la mayoría de las estructuras ordenadas que observamos, remontándonos paso a paso hasta la fase primitiva de la expansión del Universo. El ejemplo que acabamos de citar no es el más

importante. La mayor fuente de energía organizada es, con mucho, el gas de hidrógeno altamente reactivo que constituye cerca del setenta y cinco por ciento del material cósmico. El hidrógeno es el combustible de todas las estrellas normales. Cuando se quema (en las reacciones nucleares de fusión) se convierte finalmente en elementos más pesados como, por ejemplo, el hierro. El hierro no es otra cosa que cenizas nucleares; no guarda ningún tipo de energía nuclear almacenada útil en su interior. Sin lugar a dudas, debemos la existencia del orden estelar a la preponderancia del hidrógeno sobre el hierro.

Esta circunstancia se puede explicar con ayuda de la expansión cósmica. En la fase primigenia, la materia estaba demasiado caliente para que pudieran existir núcleos compuestos como el hierro. Solamente podían sobrevivir los núcleos de hidrógeno (protones individuales) que constituyen la sustancia más simple. Con la continua expansión y el posterior enfriamiento, quedó abierto el camino para la conversión del hidrógeno en elementos más pesados, y así el material cósmico fue evolucionando. Sin embargo, no llegó muy lejos. Aproximadamente el veinticinco por ciento se convirtió en helio (el segundo elemento más simple) y sólo una pequeñísima fracción fue más allá. Esto se debe achacar a cómo sucedieron las cosas en los primeros instantes de la expansión. Esta expansión fue tan rápida que no hubo tiempo suficiente para las complejas reacciones termonucleares necesarias para sintetizar núcleos compuestos pesados, como el hierro. Tras unos pocos minutos de "cocción", la temperatura disminuyó hasta valores por debajo del umbral necesario para desencadenar reacciones nucleares. El "fuego nuclear" se extinguió, quedando la mayoría del material "congelado" en forma de hidrógeno o de helio. Sólo mucho más tarde, durante la formación de las estrellas por efectos gravitacionales, se volvieron a dar las condiciones favorables para el inicio de las reacciones nucleares.

En conclusión, es posible que en un Universo en expansión la energía organizada apareciera espontáneamente, sin necesidad de estar presente al principio. Por tanto, no existe ninguna necesidad de atribuir el orden cósmico (baja entropía) ni a una deidad ni a la introducción de organización durante la singularidad inicial. La singularidad inicial pudo haber expelido energía de una forma totalmente caótica y aleatoria, energía que más tarde se organizó a sí misma espontáneamente, bajo la influencia del Universo en expansión. Obsérvese que no solamente hemos atribuido el origen de la materia al Universo en expansión, sino también el origen de su organización.

Esto, sin embargo, no puede ser el final. El campo gravitacional que, en último término, es el responsable del orden en la expansión cósmica, sufre presumiblemente una tendencia desordenadora. Así, podemos explicar el orden de las cosas materiales trasladando la responsabilidad a la gravedad; pero nos queda por explicar cómo surgió el orden en el campo gravitacional.

La cuestión se reduce a determinar si la segunda ley de la termodinámica se aplica no sólo a la materia, sino también a la gravedad. Nadie, en el fondo, sabe la respuesta. Investigaciones recientes sobre agujeros negros parecen indicar que sí se aplica, aunque otros físicos han sacado conclusiones distintas (ver capítulo 13). Algunos, como Roger Penrose, han llegado a la conclusión de que el campo gravitacional cósmico se encuentra en un estado de muy baja entropía (está altamente ordenado), lo cual indica que hubo un suministro de orden en el momento de la creación. Otros, como Stephen Hawking, mantienen que la gravedad cósmica está altamente desordenada y es el resultado que cabía esperar de influencias puramente aleatorias y sin estructura producto de la singularidad inicial. El problema sigue abierto, ya que nadie sabe todavía cómo cuantificar el orden de una distorsión del espacio (como la gravedad). De todos modos, el debate ilustra un punto

importante. Los progresos futuros de la física teórica pueden clarificar perfectamente los conceptos que están en juego y establecer de una manera definitiva si el Universo fue creado con o sin orden. De este modo, es posible que un día la ciencia pueda dar finalmente una respuesta a una cuestión que ha acaparado la atención de teólogos y filósofos.

Sea cual sea el resultado final del debate sobre la cuantificación de la entropía de la gravedad, nos enfrentamos con un hecho bastante curioso. En sistemas tales como recipientes llenos de gas, donde la gravedad es tan pequeña que puede ser ignorada, los estados de baja entropía (ordenados) son complicados, mientras que los estados de alta entropía (desordenados) son sencillos. Por ejemplo, una caja llena de gas donde todas las moléculas se encuentren apiñadas en una de las esquinas es una disposición mucho más complicada que la del estado de equilibrio (máxima entropía) en el que el gas se distribuye uniformemente a lo largo de la caja. Por contraste, un sistema gravitacional de baja entropía es geométricamente mucho más *sencillo* que uno en un estado de alta entropía. La gravedad tiende a formar estructuras espontáneamente. Así, una distribución uniforme de materia (estrellas o gas) tenderá, con el tiempo, a agruparse, formando cúmulos estelares o agregaciones densas de materia. En resumen, en sistemas no gravitacionales, orden es sinónimo de complejidad, y desorden, de simplicidad. Con la gravedad ocurre justamente lo contrario (ver fig. 7).

Si el Universo realmente empezó con un campo gravitacional de baja entropía, altamente ordenado, este campo hubo de ser homogéneo y uniforme. Así, vemos que es posible, en el caso especial de la gravedad, satisfacer ambos requisitos de simplicidad y orden (baja entropía inicial). Esto significa que podemos considerar que el Universo más *simple* (un Universo uniforme) contiene un enorme potencial de generar complejidad. Se trata de un resultado

agradable. Si debemos creer en un Universo sin causa, ¿qué mejor para ello que partir de la disposición más simple posible de materia y gravedad sin comprometer su capacidad de evolucionar posteriormente hacia formas más complejas e interesantes?

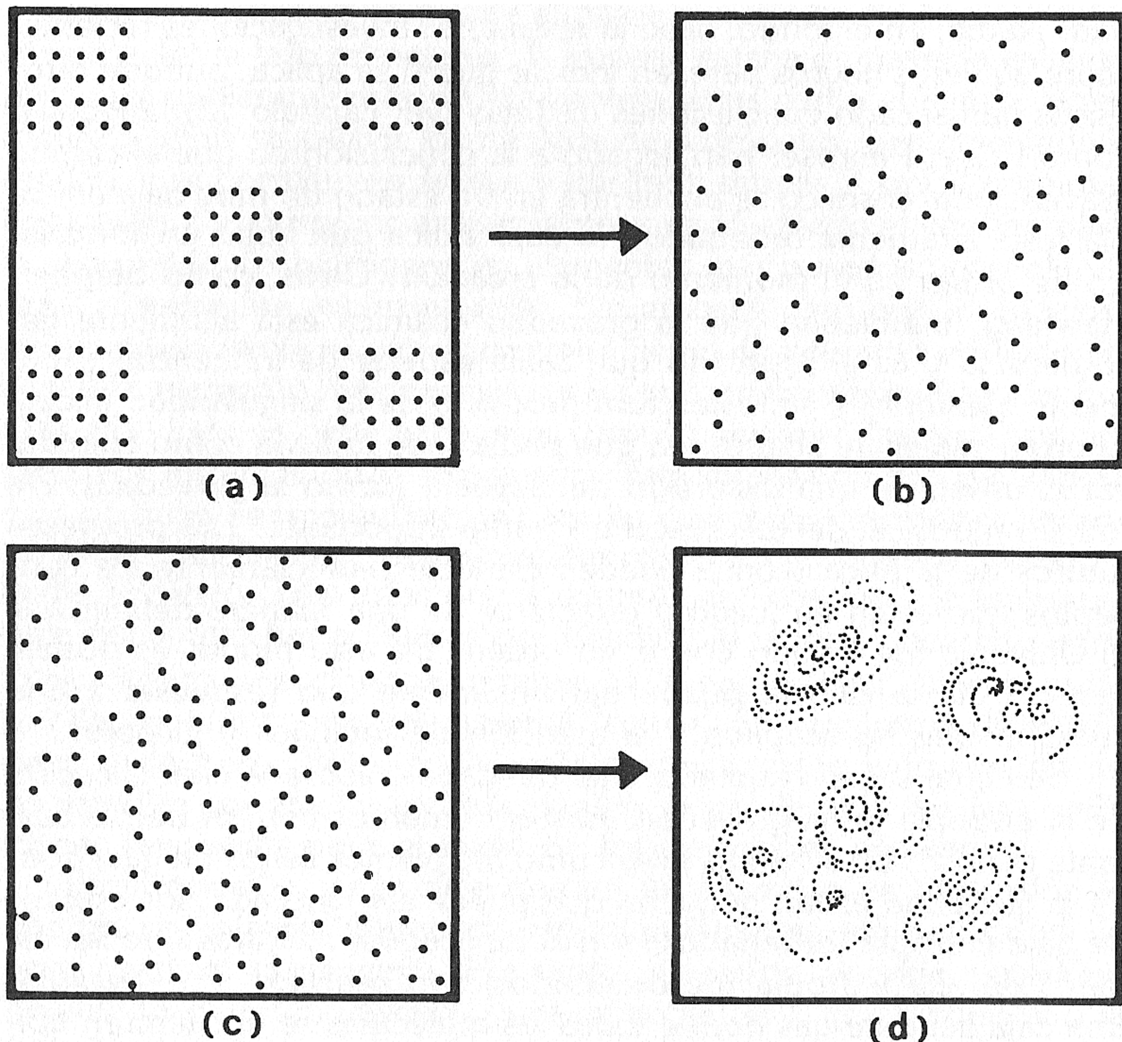


Fig. 7. El concepto de orden depende crucialmente de si podemos o no ignorar la gravedad. El recuadro *(a)* contiene un gas para el que la gravedad es negligible. Su ordenada disposición molecular pronto se transforma en desorden amorfo (máxima entropía) a causa de las colisiones entre moléculas. El estado final es *(b)*. Por otra parte, un "gas" gravitante —un sistema estelar, por ejemplo— hará todo lo contrario. La configuración uniforme inicial *(c)* tendera a fragmentarse y agruparse a medida que las estrellas se aproximen unas a otras y se organicen en cúmulos y en galaxias *(d)*. El resultado final de este proceso será un conjunto de agujeros negros.

A pesar de este éxito, hay más cosas en el mundo que el *estado* del Universo. ¿Qué podemos decir sobre las *leyes* que lo rigen? Aun admitiendo que el Universo, al menos inicialmente, se encontraba en un estado muy simple, no se puede poner en duda que las leyes de la física son todavía numerosas y especiales. ¿No son estas leyes contingentes? ¿No podemos concebir una multitud de alternativas? Y, ¿qué podemos decir de los *constituyentes* del Universo, protones, neutrones, electrones y demás? ¿Por qué *estas* partículas? ¿Por qué tienen las cargas y las masas que tienen? ¿Por qué no hay más (o menos) clases de partículas subatómicas? El teólogo tiene una rápida respuesta: Dios lo hizo así. Dios, que es infinitamente simple, decidió crear las leyes de la física y los constituyentes de la materia en una compleja variedad a fin de producir un Universo interesante.

Recientemente, los científicos han empezado a vislumbrar una respuesta a estas preguntas. Los nuevos descubrimientos surgen de un programa teórico de investigación encaminado a unificar las fuerzas de la naturaleza en un único esquema descriptivo. De acuerdo con este esquema teórico que describiremos con mayor detalle en un capítulo posterior, la profusión actual de las leyes de la física no es más que un fenómeno de bajas temperaturas. A medida que aumenta la temperatura de la materia, las distintas fuerzas que actúan sobre la misma empiezan a confundirse unas con otras hasta que, a la asombrosa temperatura de 10^{32} grados, todas las fuerzas de la naturaleza se unifican en una única superfuerza que admite una expresión matemática notablemente sencilla. Además, todas las diversas partículas subatómicas pierden su identidad, ya que sus características diferenciad oras se pierden en el calor abrasador. Los datos a favor de esta convergencia hacia la simplicidad provienen de muchos años de estudio en el campo de la física de altas energías (en este contexto, alta energía es sinónimo de alta temperatura). Los físicos han descubierto que, a medida que la temperatura aumenta,

las complejas estructuras subatómicas se desvanecen y en su lugar aparecen constituyentes más simples.

Si estas ideas son correctas (sólo podemos decir que los signos aparentes son alentadores), tendrán profundas consecuencias para la teoría del *Big Bang.* A las temperaturas ilimitadas de la Creación sólo actuaba la superfuerza, y lo hacía sobre un puñado de partículas simples. Las partículas actuales y las distintas fuerzas surgirían al irse enfriando el Universo. Así, tanto el estado del Universo como las leyes de la física y los constituyentes de la materia parecen haber empezado en una forma sumamente simple.

Sin embargo, el teólogo escéptico replicará que también la superfuerza y el puñado de partículas requieren explicación. Después de todo, ¿por qué esta superfuerza particular? ¿Por qué, en definitiva, debe de existir alguna *ley?*

Este es un tema del que volveremos a ocuparnos en el último capítulo. Algunos físicos, inspirados por la simplicidad de las leyes fundamentales de la naturaleza, han aducido que quizá la ley definitiva (en este caso la superfuerza) tenga una estructura matemática que esté unívocamente definida como el único principio físico consistente desde un punto de vista lógico. Es decir, se proclama a la física como algo "necesario" del mismo modo que Dios es proclamado como algo necesario por los teólogos. ¿Debemos, pues, llegar a la conclusión (como ya hiciese Platón) de que Dios *es física?*

Unos cuantos físicos, de entre los que destaca de un modo particular Stephen Hawking, afirman que era de esperar que el estado primitivo del Universo fuera bastante simple. La razón tiene que ver con la singularidad inicial, discutida brevemente en el capítulo 2. La característica esencial de una singularidad es que es un borde o una frontera del espacio-tiempo y, como se puede suponer, del Universo entero. Un ejemplo de singularidad es el estado infinitamente denso e infinitamente compacto que marcó el

comienzo del *Big Bang*. Se cree también que hay singularidades en el interior de los agujeros negros y quizá también en otras partes.

Dado que todas nuestras teorías físicas están formuladas en el contexto del espacio y el tiempo, la existencia de una frontera con el espacio-tiempo sugiere que los procesos naturales físicos no pueden continuar más allá de la misma. En un sentido fundamental, una singularidad representa, de acuerdo con este punto de vista, el límite exterior del Universo natural. En una singularidad, la materia puede entrar o salir del mundo físico y de ella pueden emanar influencias que están absolutamente fuera de la capacidad de predicción de la física, incluso en principio. Una singularidad es lo más próximo a un agente sobrenatural que la ciencia haya encontrado.

Durante muchos años se pensó que las singularidades eran pura invención, producto de una sobreidealización del modelo gravitacional empleado. Entonces, con ayuda de una serie de brillantes teoremas matemáticos, Penrose y Hawking demostraron que las singularidades eran, de hecho, algo bastante general e inevitable si la gravedad se hacía suficientemente intensa. Sin ninguna duda, era bastante intensa en el *Big Bang.*

Se empezó a especular sobre el comportamiento de las singularidades. Las diversas alternativas quedaron reducidas a dos: o bien lo que surge de un singularidad es totalmente caótico y carente de estructura o bien es coherente y organizado. En el primer caso, la singularidad del *Big Bang* da lugar a un Universo caótico, mientras que en el segundo introduce un Universo organizado.

Hawking ha propuesto lo que él llama un «principio de ignorancia», según el cual la singularidad es la incognoscibilidad fundamental y es, por tanto, carente de toda información (en física, información es básicamente equivalente a orden o entropía negativa). En consecuencia, lo que surja de una singularidad debe ser algo totalmente caótico y aleatorio. Esto concuerda con la

creencia de que el Universo primigenio se encontraba en un estado de máximo desorden (equilibrio termodinámico).

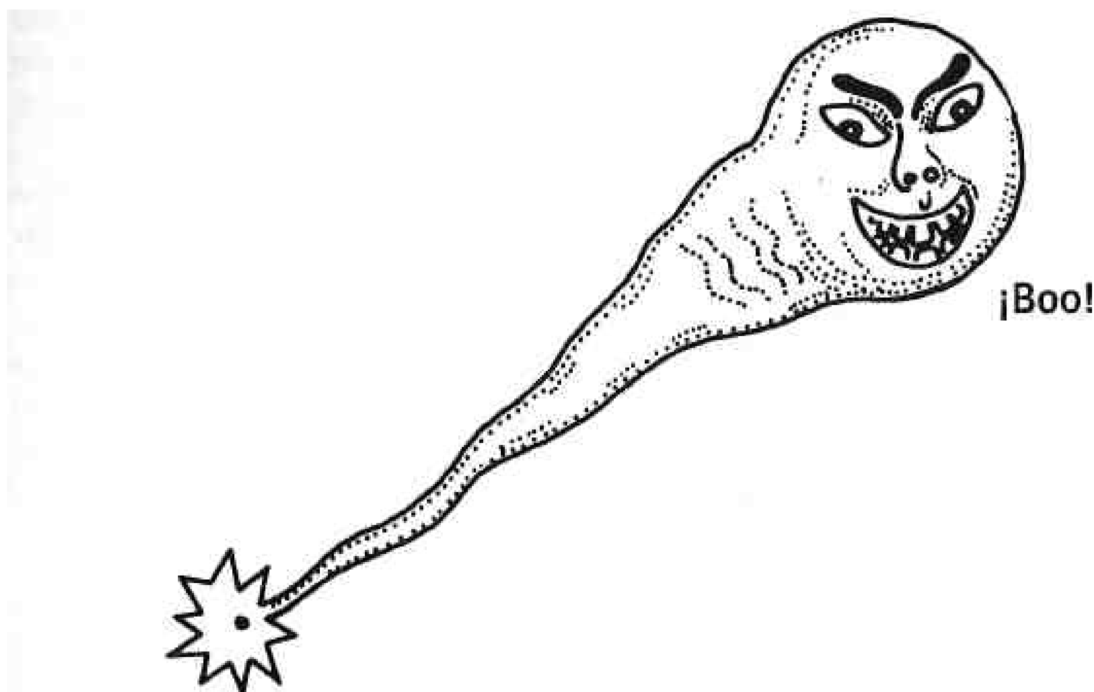


Fig. 8. Una singularidad (punto) representa la incognoscibilidad fundamental en la ciencia. Es una frontera del espacio-tiempo a través de la cual pueden entrar y salir del Universo físico materia e influjos. Si la singularidad es "pura", cualquier cosa puede salir de ella sin causa física previa. Algunos cosmólogos creen que el Universo surgió de una singularidad pura. De ser así, una singularidad sería una puerta que comunica lo natural con lo sobrenatural.

Muchas de estas ideas están en la frontera de la física teórica moderna y es de esperar que se esclarezcan en futuras investigaciones. No existe acuerdo unánime entre los físicos sobre la condición de las singularidades del espacio-tiempo, ni siquiera sobre el estado preciso del Universo primitivo. De todos modos, no cabe ninguna duda de que el flujo de ideas generado por los recientes avances en la cosmología científica ha renovado y dado un nuevo giro al debate sobre Dios y la existencia del Universo.

V. ¿QUÉ ES LA VIDA? HOLISMO CONTRA REDUCCIONISMO

«Y Dios creó al hombre a imagen suya.»
GÉNESIS 1:27

«Somos máquinas diseñadas para sobrevivir, robots ciegamente programados para conservar las moléculas egoístas que llamamos genes.»
RICHARD DAWKINS
(El gen egoísta)

De acuerdo con el teólogo, la vida es el milagro supremo, y la vida humana constituye la culminación del plan cósmico divino. Para el científico, la vida es el fenómeno más sorprendente de la naturaleza. Hace cien años, el tema del origen y la evolución de los seres vivos se convirtió en el campo de batalla de una de las más grandes controversias entre ciencia y religión. La teoría de la evolución de Darwin hizo temblar los cimientos de la doctrina cristiana y —como sucedió cuando Copérnico puso al Sol en el centro del Sistema Solar— se hicieron manifiestas en todos los ámbitos de la sociedad las profundas consecuencias del análisis científico. La ciencia abrió de pronto una nueva perspectiva para el hombre y su relación con el Universo.

Este es, básicamente, un libro sobre física y no voy a extenderme demasiado en los detalles de la evolución darwiniana, sus repercusiones para la Iglesia y la curiosa resurrección del sentimiento antidarwiniano en el reciente movimiento "creacionista". Todos estos temas están profusamente documentados en otras partes. En este capítulo nos plantearemos interrogantes sobre el significado de la vida desde el punto de vista del físico.

La Biblia afirma bastante explícitamente que la vida es un resultado directo de la actividad de Dios; no apareció de manera natural como resultado de procesos físicos ordinarios puestos en marcha después de la creación del Cielo y la Tierra. Dios decidió crear, por medio de su divino poder, primero las plantas y los animales y después Adán y Eva. Desde luego, la inmensa mayoría de cristianos y judíos están de acuerdo en la actualidad en conceder un carácter alegórico al libro del Génesis y no intentan defender la versión bíblica del origen de la vida como un hecho histórico. A pesar de ello, la naturaleza divina de la vida humana sigue siendo el dogma central de la doctrina religiosa contemporánea.

¿Tiene la vida un origen divino? ¿Violó Dios las leyes de la física y de la química manipulando las moléculas de materia inerte

con el fin de producir de forma milagrosa el primer ser vivo? ¿Manipuló posteriormente la estructura genética de algún simio hace miles o millones de años para crear al hombre? ¿O es la vida, por el contrario, un resultado de actividades químicas y físicas naturales (aunque complejas) y el hombre es el producto final de un largo y evolucionado desarrollo? ¿Puede crearse la vida artificialmente en el laboratorio, o debe contener un ingrediente adicional, una chispa divina, antes de que sea viable?

¿Qué es la vida? Para el físico, las dos características distintivas de la vida son complejidad y organización. Incluso un simple organismo unicelular muestra una complejidad que no admite comparación con ningún producto del ingenio humano. Considérese, por ejemplo, una humilde bacteria. Una inspección minuciosa nos revela una compleja red de funciones y formas. La bacteria puede interactuar con su entorno de diversas formas: se puede propulsar a sí misma, puede atacar a sus enemigos, es capaz de reaccionar frente a los estímulos externos acercándose o alejándose de los mismos y puede intercambiar materia de una forma controlada. Su funcionamiento interno se asemeja en organización al de una gran ciudad. La mayor parte del control reside en el núcleo de la célula, dentro del cual se encuentra el "código" genético, el "negativo" químico que permite a la bacteria duplicarse a sí misma. Las estructuras químicas que controlan y dirigen toda esta actividad pueden comprender moléculas compuestas de más de un millón de átomos dispuestos de una manera complicada aunque altamente específica. La base química de la vida la constituyen las moléculas de ácido nucleico, ARN y ADN, con sus famosas estructuras de "doble hélice".

Es importante darse cuenta de que un organismo biológico está compuesto de átomos perfectamente ordinarios. Parte de su función metabólica consiste en adquirir nuevas sustancias de su entorno y expulsar las sustancias degeneradas o no deseadas. Un

átomo de carbono, de hidrógeno, de oxígeno o de fósforo en una célula viva no es diferente de un átomo similar fuera de la misma, y hay una corriente ininterrumpida de átomos entrando y saliendo de cada organismo vivo. Claramente, pues, la vida no se puede reducir a una propiedad de las partes constituyentes de un organismo. La vida no es un fenómeno acumulativo como, por ejemplo, el peso. Aunque nadie duda de que un gato o un geranio son seres vivos, no encontraremos el menor signo de vida en ningún átomo individual del gato o del geranio.

Esto parece paradójico. ¿Cómo puede haber vida en una colección de átomos inanimados? Hay quien piensa que es imposible construir vida a partir de algo carente de ella, de modo que, en su opinión, debe existir algún ingrediente adicional no material en el interior de todos los seres vivos, una fuerza, vital o una esencia espiritual debida, en última instancia, a Dios. Ésta es la vieja teoría del vitalismo.

Un argumento empleado con frecuencia en apoyo del vitalismo tiene que ver con el comportamiento. Una característica de los seres vivos es que parecen comportarse de acuerdo con un propósito, como si estuvieran encaminados hacia un fin específico. Esta cualidad "ideológica" se muestra de forma más evidente en las formas de vida superiores, aunque incluso una bacteria puede dar la impresión de estar esforzándose para llevar a cabo ciertas tareas rudimentarias como la captura de alimento.

Hacia 1770, Luigi Galvani descubrió que un músculo de rana se contraía espasmódicamente cuando lo tocaba con un par de varillas metálicas y llegó a la conclusión de que esta "electricidad animal" no era otra cosa que la manifestación del espíritu oculto de la vida. De hecho, la creencia de que la electricidad está de algún modo relacionada con las fuerzas vitales se encarna en la historia de Frankenstein, una criatura creada artificialmente a la que se le

comunica vida por medio de la chisporroteante descarga de un ingenio eléctrico.

En tiempos más recientes, algunos investigadores de lo que se conoce como paranormal mantienen haber detectado directamente las misteriosas fuerzas de la vida por medio de una más que improbable combinación de poder psíquico y tecnología avanzada. Han esgrimido como prueba confusas fotografías en las que aparecen misteriosas manchas y rayos filamentosos que emanan de los dedos de un persona.

Por desgracia, es difícil dar algún apoyo científico a estas vagas conjeturas. Aparentemente, la única forma en que se manifiesta la hipotética fuerza vital es a través de la vida; los seres vivos poseen la fuerza vital, los que no lo están no la poseen. Esto reduce la fuerza vital a una simple palabra y no a una explicación de la vida, porque ¿qué quiere decir que una persona, o un pez, o un árbol, posean fuerza vital? Únicamente que están vivos. En cuanto a la manifestación de la fuerza vital por medio de oscuros y misteriosos experimentos, se puede decir que estas experiencias son notorias por su no repetibilidad; además, están expuestas de una manera tan evidente al fraude que son muy pocos los científicos profesionales que las tienen en cuenta.

El error que se comete cuando se invoca una fuerza vital es pasar por alto el hecho de que un sistema compuesto puede poseer cualidades que no poseen en absoluto sus componentes individuales. Considérese, por ejemplo, una fotografía de periódico de una cara compuesta de multitud de pequeños puntos. Por mucho que se aumente con una lupa el tamaño de cada punto, ninguno de ellos revelará individualmente ninguna cualidad de la cara. Solamente mirando la colección de puntos como un todo reconocemos la imagen. La cara no es una propiedad de los puntos en sí mismos sino de toda la colección. La propiedad debe buscarse en la distribución y no en los constituyentes. Del mismo modo, no

hay que buscar el secreto de la vida en los átomos individuales, sino en la forma en que éstos se agrupan, en la información codificada dentro de las estructuras moleculares. Una vez se acepta la existencia de fenómenos colectivos, la necesidad de encontrar una fuerza vital desaparece. Los átomos no necesitan ser "animados" para producir vida, basta con que se combinen y estructuren de una manera apropiada.

La distinción que establecemos se conoce a menudo como la oposición entre "holismo" y "reduccionismo". El motor principal del pensamiento científico del mundo occidental en los tres últimos siglos ha sido el reduccionismo. La misma palabra "análisis" ilustra adecuadamente el hábito científico de descomponer un problema para resolverlo. Sin embargo, existen algunos problemas (como los rompecabezas) que sólo pueden ser resueltos juntando sus distintas piezas (son de naturaleza "holística" o sintética). El dibujo del rompecabezas, al igual que la cara granulada de la fotografía de periódico, sólo puede ser percibido en un plano estructural superior al de las piezas individuales (el todo es mayor que la suma de las partes).

El reduccionismo científico tiene su origen en la física del siglo XIX y en el desarrollo de la teoría atómica de la materia. Más recientemente, los biólogos han seguido este camino consiguiendo éxitos muy notables en desvelar la base molecular de la vida. Estos éxitos han alentado un punto de vista reduccionista en otras áreas de investigación.

Los males del reduccionismo desenfrenado han atraído aceradas críticas sobre sí. El escritor Arthur Koestler escribe: «Al negar un lugar al sentido y al propósito en la interacción de fuerzas ciegas, la actitud reduccionista ha arrojado su sombra más allá de los confines de la ciencia, afectando nuestra atmósfera cultural e incluso política.» Muchos críticos lamentan que estos intentos de explicar los organismos vivos como meros montones de átomos sin

sentido, producto inútil de accidentes aleatorios, devalúan seriamente nuestra propia existencia.

El neurobiólogo británico Donald Mackay, un conocido defensor de la doctrina cristiana, se opone a esta actitud tan en boga entre los biólogos contemporáneos. En La imagen mecánica menciona, para ilustrar su argumento, el funcionamiento de uno de estos familiares anuncios luminosos que consisten en cientos de bombillas eléctricas que se encienden y se apagan de acuerdo con una determinada secuencia para deletrear un mensaje. Un ingeniero eléctrico podría dar una descripción meticulosa y completa de este sistema en términos de la teoría de circuitos eléctricos, explicando por qué y cómo se apaga cada una de las bombillas. Sin embargo, la idea de que el anuncio luminoso no es más que una serie de corrientes eléctricas en un circuito complejo es absurda. De hecho, la descripción del anuncio en términos eléctricos no es ni falsa ni incompleta en su propio nivel de descripción, pero no menciona en ningún momento el mensaje. El concepto del mensaje está fuera de los términos de referencia del trabajo del ingeniero. Solamente se manifiesta cuando se considera el funcionamiento del anuncio como un todo. Podemos decir que el mensaje se encuentra en un plano estructural más elevado que el de los circuitos y las bombillas: es una propiedad holística.

En el caso de los organismos vivos, nadie negaría que un organismo es una colección de átomos. El error consiste en suponer que no es nada más que una colección de átomos. Tal punto de vista es tan ridículo como afirmar que una sinfonía de Beethoven no es nada más que una colección de notas o que una novela de Dickens es simplemente una colección de palabras. La vida, el tema de una melodía o el argumento de una novela son lo que llamamos cualidades "emergentes". Sólo emergen en el plano colectivo de una estructura y no tienen sentido en el plano de los constituyentes de la misma. La descripción de los constituyentes no contradice la

descripción holística, sino que los dos puntos de vista son complementarios; cada uno es válido en su propio plano (cuando examinemos la teoría cuántica volveremos a encontrar la idea de dos descripciones diferentes y complementarias de un único sistema).

La importancia de la distinción de planos es muy familiar en el mundo de la informática. Un computador electrónico moderno consiste en una intrincada red de circuitos electrónicos a través de los cuales se transmite una compleja serie de pulsos eléctricos. Nos encontramos en el plano del hardware. Por otro lado, la misma actividad electrónica puede representar la solución de un sistema de ecuaciones matemáticas o el análisis de la trayectoria de un proyectil. Esta última descripción, que se encuentra en un plano superior que el hardware, utiliza conceptos tales como programas, operaciones, símbolos, entrada y salida de datos, etc., que no tienen ningún significado en el plano del hardware. Por ejemplo, un conmutador de un circuito no se cierra porque tenga que calcular una raíz cuadrada. Se cierra porque la diferencia de potencial es la adecuada y las leyes de la física le obligan a ello. El plano superior de descripción del funcionamiento de un computador, es decir, el programa, se denomina software. Tanto el hardware como el software describen lo que sucede en el interior del computador, cada uno a su manera y en planos conceptuales totalmente diferentes.

Quizá quien mejor ha descrito la tensión entre el reduccionismo y el holismo haya sido Douglas Hofstadter en su monumental obra Gódel, Escher, Bach. En su deslumbrante "fuga de las hormigas" expone lúcidamente las confusiones que se presentan cuando se confunden los planos de descripción, examinando el destino de una colonia de hormigas. Las hormigas poseen una elaborada estructura social altamente organizada, basada en la división del trabajo y la responsabilidad colectiva. Aunque cada hormiga individual posee un repertorio muy limitado de recursos

en cuanto al comportamiento, quizá inferior al de alguno de los modernos microprocesadores, la colonia como un todo muestra un grado notable de propósito e inteligencia. La construcción de la casa colonial requiere vastos y sofisticados proyectos de ingeniería. Evidentemente, ninguna hormiga individual dispone de una concepción mental del diseño global. Cada hormiga es un simple autómata programado para ejecutar un conjunto sencillo de operaciones. (Hablamos en el plano del hardware.) Si consideramos la colonia como un todo descubrimos un esquema complicado. A este plano holístico (análogo al software en informática) se hacen aparentes cualidades emergentes, como son el comportamiento deliberado y la organización. Surge un esquema colectivo. Hofstadter mantiene que estos dos planos de descripción no son antagónicos, que la pregunta sobre si debe entenderse el mundo vía el holismo o vía el reduccionismo no es válida. Todo depende de lo que se quiera saber. Hofstadter señala que esta perspectiva ha sido apreciada desde siempre en Oriente, hallando su más refinada expresión en la críptica filosofía oriental del Zen.

Aunque estamos acostumbrados a pensar en las hormigas individuales como organismos primarios, la colonia como un todo se comporta, en cierto sentido, también como un organismo. Nuestros propios cuerpos son también colonias compuestas de miles de millones de células que cooperan en una organización colectiva. Su asociación es quizá más estrecha que la existente entre las hormigas, pero siguen básicamente los mismos principios de división del trabajo y responsabilidad colectiva. Sin embargo, el aspecto crucial que queremos señalar es que, del mismo modo que la colonia de hormigas tiene cualidades holísticas, también las tiene la colonia de células. Decir que una colonia de hormigas no es más que una colección de hormigas es pasar por alto la realidad del comportamiento de la colonia. Es tan absurdo como decir que los programas de computador no son más que un conjunto de impulsos

eléctricos. De modo análogo, decir que un ser humano no es más que un conjunto de células, las cuales a su vez no son más que pedazos de ADN, que a su vez no son más que ristras de átomos, y concluir finalmente que, por esta razón, la vida carece de sentido, es decididamente absurdo. La vida es un fenómeno holístico.

Una apreciación de la naturaleza holística de la vida permite abandonar tranquilamente la vieja idea de la fuerza vital, puesto que ésta también está basada en una confusión de planos. La idea de que se debe conferir alguna cualidad mágica a la materia para "comunicarle vida" es tan poco afortunada como suponer que deba comunicarse algún tipo de "poder computacional" a los circuitos electrónicos o que se deba dotar a las hormigas de un "espíritu colonial" antes de que estos sistemas puedan funcionar colectivamente. Si fuera posible construir artificialmente una bacteria completa disponiendo los átomos del modo apropiado, no existe ninguna duda de que estaría tan viva como cualquier bacteria "natural".

Hace ya mucho tiempo que los físicos han abandonado el enfoque puramente reduccionista para estudiar el mundo. Esto es particularmente cierto en la teoría cuántica, donde una comprensión holística del acto de medir es fundamental para interpretar correctamente la teoría (ver cap. 8). Sin embargo, la filosofía holística ha empezado a ejercer un impacto más general en las ciencias físicas en los últimos años. Esta evolución también se ha seguido en algunos círculos de la medicina, donde se habla del "paciente entero", y también entre psicólogos y sociólogos. La ciencia holística se está transformando rápidamente en algo parecido a un culto, en parte quizá debido a que sigue la línea de las filosofías orientales y el misticismo. Esta nueva tendencia ha sido bien retratada en la obra de Fritjov Capra El Tao de la física o en la de Zukav The Dancing Wu Li Masters, donde se establecen paralelismos entre la física

moderna y conceptos orientales tradicionales tales como la "unicidad" del espíritu y el destino universal.

Una vez se acepta que la perspectiva holística elimina la necesidad de una fuerza vital, surge inmediatamente la cuestión de si la ciencia, y la física en particular, puede llegar a proporcionarnos una descripción de los fenómenos holísticos, incluyendo la vida. Un intento de desarrollar una física holística de gran alcance lo ha llevado a cabo David Bohm en su obra Wholeness and Implícate Orden. Al considerar los sistemas biológicos, Bohm señala: «La vida pertenece de algún modo a una totalidad.» Va todavía más lejos y afirma que la vida se encuentra, por así decir, "empaquetada" en el sistema total, incluyendo sus partes incuestionablemente inanimadas como el aire que respiramos, cuyas moléculas pueden llegar un día a formar parte de nuestros cuerpos.

De hecho, la física empezó a enfrentarse a fenómenos holísticos hace ya más de un siglo con los trabajos de James Clerk Maxwell y Ludwig Boltzmann, que desarrollaron la rama de la termodinámica conocida como mecánica estadística, en la que se deducen propiedades termodinámicas a partir de las propiedades estadísticas de vastas colecciones de moléculas. La termodinámica juega un papel de importancia capital en los procesos vitales y su aplicación a la biología da un tinte paradójico a los procesos biológicos.

He aquí la paradoja: El orden es la esencia misma de los seres vivos. Como hemos visto, según la segunda ley de la termodinámica el desorden debe siempre aumentar. Pero la evolución de la vida es un ejemplo clásico de incremento del orden. A lo largo de la historia de la Tierra los seres vivos han ido adquiriendo formas más elaboradas y complejas, incrementando así la cantidad de orden. ¿Cómo puede compaginarse esto con la segunda ley? ¿Se trata de la acción de un agente divino que impone orden (de una manera milagrosa) en el proceso de desarrollo de los organismos vivos?

Una inspección más minuciosa nos revela que no existe necesariamente ninguna contradicción entre la biología y la segunda ley. Esta última hace siempre referencia al sistema total. Es posible acumular orden en un lugar al precio de introducir desorden (aumentar la entropía) en otro lugar. Una característica esencial de los seres vivos es que están "abiertos" a su entorno: no están encerrados ni son autosuficientes en modo alguno. Solamente pueden sobrevivir intercambiando energía y materia con su entorno. Cuando se hace el balance de la entropía, se observa que el incremento de orden en un organismo se traduce en un incremento de la entropía del ambiente. En todos los casos existe un aumento neto de entropía. De hecho, también hay muchos ejemplos de acumulación de orden en objetos inanimados. La formación de un cristal a partir de un líquido sin rasgos distintivos representa un incremento local del orden. No obstante, un examen detallado nos muestra que en el proceso se libera calor, lo cual aumenta la entropía del material circundante.

Se dice a veces que los seres vivos necesitan energía, pero esto no es del todo correcto. La física dice que la energía se conserva (no puede ser creada ni destruida). Cuando una persona metaboliza el alimento, se libera una cierta cantidad de energía en su cuerpo, la cual se disipa posteriormente en su entorno en forma de calor o trabajo realizado. El contenido energético total de un cuerpo humano permanece más o menos invariable. Lo que ocurre es que hay un flujo de energía a través del cuerpo que viene regulado por el orden, o entropía negativa, de la energía consumida. El ingrediente crucial para que haya vida es, por tanto, la entropía negativa. El gran físico Erwin Schródinger, en su libro ¿Qué es la vida?, lo expresaba en estos términos:

Un organismo tiene la maravillosa propiedad de concentrar en sí mismo una "corriente de orden" y escapar así del descenso hacia el caos atómico, "bebiendo orden" de un medio adecuado.

Decir que la vida no contradice las leyes de la física no es, desde luego, lo mismo que decir que las leyes de la física expliquen la vida. Pocos físicos defenderían la idea de que a partir de un completo conocimiento de las leyes que rigen los procesos atómicos y moleculares fuera posible deducir la existencia de la vida. Pero esto no quiere decir necesariamente que tengamos que apelar a la existencia de una "fuerza vital":

Un ingeniero que sólo conociera las máquinas de vapor, después de inspeccionar la construcción de un motor eléctrico debería admitir que funciona según principios que él no se encuentra en condiciones de entender... La diferencia en la construcción es suficiente para que se dé cuenta de que el funcionamiento es totalmente diferente. Por el hecho de que un motor eléctrico se haga funcionar accionando un conmutador sin caldera ni vapor, no sospechará que está impulsado por un fantasma.

De manera semejante, los organismos vivos pueden funcionar gracias a leyes físicas y principios que aún no se comprenden bien, aunque sí se conozca la física de sus componentes individuales (los átomos y las moléculas). Para volverlo a repetir, el comportamiento colectivo puede no ser comprensible en términos de las partes constituyentes. Dando por supuesto que la materia viva y la materia inerte obedecen a las mismas leyes de la física, el misterio estriba, entonces, en descubrir por qué un solo conjunto de leyes puede dar lugar a comportamientos tan fundamentalmente distintos. Es como si la materia pudiera tomar dos caminos, uno el de la vida, evolucionando hacia estados progresivamente más ordenados, y el otro el de la materia inanimada, volviéndose cada vez más desorganizada y siguiendo escrupulosamente la segunda ley de la termodinámica. Sin embargo, en ambos casos, los constituyentes básicos (los átomos) son idénticos.

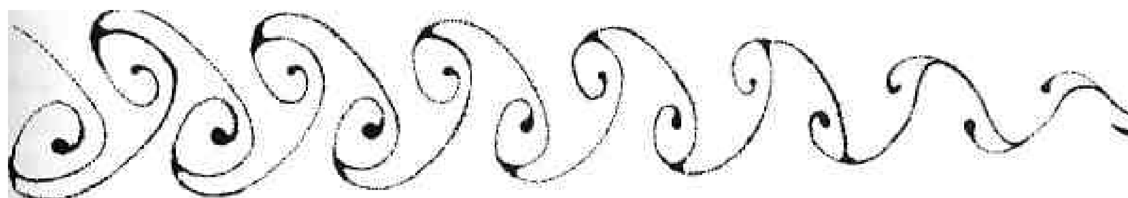
En los últimos años se han hecho algunos progresos relativos a los principios que controlan la aparición de orden colectivo. El "milagro" de la vida puede parecer menos misterioso gracias al estudio de sistemas inanimados capaces de autoorganizarse de modo espontáneo. Consideremos, por ejemplo, una capa horizontal de líquido calentada desde abajo. Cuando se alcanza una cierta temperatura crítica, el líquido se organiza de modo regular en forma de células convectivas donde un gran número de moléculas se mueven coherentemente siguiendo un modelo de flujo reconocible.

El estudio de los fluidos está repleto de ejemplos de que se establece el orden cuando se fuerza al sistema a alejarse del equilibrio termodinámico. Uno de estos casos está relacionado con la aparición de remolinos en el flujo de un fluido. En la Tierra esto da lugar a los tornados y otras perturbaciones atmosféricas. En Júpiter, a la aparición de las hermosas y elaboradas estrías superficiales características de este astro.

Ciertas reacciones químicas proporcionan ilustraciones muy notables de la aparición espontánea de orden. En la llamada reacción de Belousov-Zhabotinski, una mezcla química en un tubo de ensayo forma curiosas estrías en bandas horizontales, mientras que si se llena un plato plano con la mezcla aparecen unas maravillosas formas espirales. El comportamiento químico organizado se observa frecuentemente, bajo ciertas condiciones, en sustancias orgánicas no vivas, en muchos casos gracias a complicadas cadenas de reacciones altamente complejas que presentan procesos de "realimentación" y "catálisis".

Un estudio sistemático de los sistemas autoorganizados fue llevado a cabo por el premio Nobel de química Ilya Prigogine y su numeroso grupo de investigación en la Universidad de Bruselas. Mención aparte merece el trabajo pionero de Manfred Eigen. Prigogine aspira no solamente a descubrir los mecanismos de la autoorganización, sino a proporcionar un tratamiento matemático

riguroso para su descripción. En muchos casos, las ecuaciones que describen los modelos de comportamiento sencillos en sistemas biológicos avanzados son las mismas que aquellas que se aplican a reacciones químicas inorgánicas. Prigogine cree que es posible que los principios que encierran el secreto de la vida se manifiesten en estos ejemplos sencillos de movimiento de fluidos o mezclas químicas. La característica común en todos estos ejemplos es que los sistemas que están en juego se alejan mucho del equilibrio termodinámico, después de lo cual se vuelven inestables y se organizan a sí mismos espontáneamente a gran escala. Para describir esta organización, Prigogine emplea el término de "estructuras disipativas": «La aparición de estructuras disipativas requiere generalmente que el tamaño del sistema exceda de un cierto valor crítico... e implica un orden a gran escala gracias al cual el sistema se comporta como un todo.»



Flg. 9. El flujo de un líquido sobre un delgado filamento produce los complicados vórtices aquí representados que recuerdan algunos rasgos superficiales del planeta Júpiter. (Reproducido con el permiso del Dr. David Tritton.)

Nadie duda que el trabajo de Prigogine ha hecho avanzar en gran medida nuestra comprensión de las estructuras físicas que se encuentran lejos del equilibrio y nos ha ayudado a reconocer estructuras en sistemas inanimados que son reminiscentes de los organismos vivos. Sería temerario, sin embargo, tomar al pie de la letra sus resultados. Comportamiento común no quiere decir

explicación común. Por ejemplo, la estructura de la molécula de benceno en forma de anillo recuerda el círculo que a veces forman los niños cuando juegan, pero esta comparación difícilmente se podría usar para explicar el comportamiento humano. Sin embargo, lo que sí demuestra el estudio de los sistemas autoorganizados es que el orden complejo de los sistemas biológicos puede atribuirse plausiblemente a procesos físicos altamente alejados del equilibrio, hasta ahora solamente percibidos de manera un tanto oscura, pero sin la necesidad de una fuerza vital o una chispa divina.

Muchas personas religiosas están dispuestas a admitir que, una vez hizo su aparición la vida en la Tierra, su subsiguiente propagación y desarrollo se puede explicar mediante las leyes de la física y de la química combinadas con la teoría de la evolución de Darwin. La reproducción, por ejemplo, donde las espirales de ADN se duplican a sí mismas químicamente, parece un claro proceso mecanicista, por bien que puede ser muy complejo. Pero, ¿qué se puede decir del origen de la vida?

El origen de la vida sigue siendo uno de los grandes misterios para la ciencia. El enigma principal es decidir a partir de qué umbral de complejidad estructural se puede hablar de vida. Sólo cuando las moléculas orgánicas adquieren un cierto nivel muy elevado de complejidad se puede decir que están "vivas", en el sentido de que almacenan en forma codificada una enorme cantidad de información. Además, no solamente exhiben la capacidad de almacenar el "negativo" necesario para repetirse a sí mismas, sino que también cuentan con los medios para implementar estas copias. El problema está en comprender cómo los procesos físicos y químicos ordinarios pueden cruzar este umbral sin la ayuda de ningún agente sobrenatural.

La Tierra tiene una edad aproximada de cuatro mil quinientos millones de años. Se han encontrado trazas de vida evolucionada en fósiles datados en más de tres mil quinientos millones de años y,

presumiblemente, existió alguna forma de vida primitiva antes de esta época. Por tanto, a escala geológica, la vida se estableció en nuestro recién enfriado planeta con bastante rapidez. Esto sugiere que, sean cuales sean los mecanismos responsables de la generación de vida, fueron realmente eficientes. Esta observación ha llevado a algunos científicos a la conclusión de que la vida es un resultado casi inevitable una vez se dan las condiciones físicas y químicas adecuadas.

El escenario ideal para el origen de la vida es la "sopa primigenia". La tierra primitiva, con su abundante provisión de agua enriquecida con compuestos orgánicos formados en las reacciones químicas atmosféricas, debía poseer innumerables lagunas, estanques y lagos donde tuvo lugar una amplia gama de procesos químicos. En el transcurso de millones de años se formaron moléculas de mayor y mayor complejidad, hasta que, tras cruzar el umbral, la vida surgió de la alta organización aleatoria de complejas moléculas orgánicas.

Esta descripción encontró apoyo en el célebre experimento de Miller-Urey de 1953. Stanley Miller y Harold Urey, de la Universidad de Chicago, intentaron simular las condiciones que se creía habían prevalecido en la tierra primitiva, es decir, crearon una atmósfera de metano, amoníaco e hidrógeno en una piscina de agua sometida a una tormenta (imitada por medio de una descarga eléctrica). Después de unos cuantos días, los experimentadores observaron que la piscina (de agua) se había vuelto de color rojo y contenía muchos de los compuestos químicos que hoy se sabe que son importantes para la vida, como los aminoácidos.

Aunque estos resultados puedan parecer alentadores, no existe ninguna razón para suponer que tal sopa generó espontáneamente la vida, incluso al cabo de millones de años, con sólo explorar cada posible combinación de reacciones químicas. La probabilidad de un ensamblaje espontáneo de ADN (la compleja

molécula que transporta el código genético) como resultado de concatenaciones aleatorias de las moléculas de la sopa es inimaginablemente pequeña. Existen tantas combinaciones posibles de moléculas que la probabilidad de que apareciera por azar la molécula adecuada es virtual-mente cero.

Sin embargo, el trabajo de Prigogine demuestra que muchos sistemas se organizan espontáneamente a sí mismos si son forzados a separarse del equilibrio termodinámico. Así, quizás la sopa primitiva fue encaminada a producir una sucesión de complejas reacciones autoorganizadas gracias a alguna influencia externa que trastornó el equilibrio termodinámico. Esta influencia pudo haber sido el Sol, cuyo poderoso flujo de radiación produce el desequilibrio (entropía negativa) que rige los procesos en la biosfera de la Tierra. O pudo haber sido alguna otra cosa; nadie lo sabe. El producto final de esta sucesión pudo haber sido el ADN.

En resumen, no es difícil concebir una sopa prebiótica que contuviera todos los ingredientes biológicos necesarios y que, con la ayuda de perturbaciones exteriores, se autoorganizara en engranados bucles de "realimentación" a través de los cuales se concentró el orden y aumentaron fantásticamente las posibilidades favorables de atravesar el umbral de la vida. Sin embargo, no conocemos en absoluto los pasos que median entre el experimento de Miller-Urey y las verdaderas moléculas. El origen de la vida sigue siendo un misterio y es motivo de controversia entre los científicos. El mismo Francis Crick, cuya revelación de la estructura molecular del ADN a principios de los cincuenta se ha descrito como el descubrimiento del siglo, se muestra cauteloso:

No podemos decidir si el origen de la vida fue un suceso realmente muy raro o si tenía que suceder con seguridad... Parece casi imposible dar algún valor numérico a la probabilidad de lo que parece una improbable sucesión de sucesos.

Sin embargo, una falta de conocimiento no implica necesariamente un milagro, y futuros descubrimientos podrían esclarecer un gran número de detalles pendientes.

Pero aunque las investigaciones posteriores sugirieran que el origen natural de la vida sólo podría deberse a un accidente fantástico, aquellos que creen en un Universo infinito con un número infinito de planetas no tienen por qué creer en las estadísticas. En efecto, en un Universo infinito cualquier cosa posible debe suceder en alguna parte por puro azar. Evidentemente, nosotros nos encontraríamos justamente donde este suceso fantástico acaeció.

Del estudio de la vida, de su origen y de su función, ¿podemos extraer algún indicio de la existencia de Dios? Hemos visto que para los científicos modernos la vida es un mecanismo y no pueden encontrar ningún indicio real de una fuerza vital o una cualidad no material. El origen de la vida nos es desconocido, aunque el estudio de los sistemas autoorganizados nos ofrece una versión mecanicista de la biogénesis. Después de todo, la notable capacidad de la vida para concentrar la entropía negativa no viola la segunda ley de la termodinámica, y dado que sólo se pueden vislumbrar las leyes físicas que controlan y dirigen las funciones biológicas, no existe ningún indicio de que los sistemas vivos contradigan las leyes físicas y químicas conocidas.

Por supuesto, nada de esto excluye a un Dios creador, pero nos hace ver que la acción divina puede no ser más necesaria para la biología que, por ejemplo, para producir los anillos de Saturno o las características peculiares de la superficie de Júpiter. Podemos hallar indicios de Dios en cualquier parte o en ninguna parte. Parece como si la vida no fuera excepcionalmente distinta de otras estructuras organizadas complejas, excepto quizá en el grado de organización. Nuestra ignorancia del origen de la vida deja el campo abierto a las

explicaciones divinas, pero ésta no es más que una actitud negativa, puesto que invoca un Dios que sólo sirve hasta que los avances científicos le hagan batirse en retirada. Es mejor pensar que la vida no es un milagro aislado dentro de un universo mecánico, sino una parte integral del milagro cósmico.

La creencia general entre los científicos de que la vida es un estado natural aunque improbable de la materia ha alentado la especulación de la existencia de vida extraterrestre en otras partes del Universo. Éste es, desde luego, un tema controvertido y no vamos a intentar discutirlo aquí. Hasta la fecha no existe ningún dato fehaciente de biología extraterrestre, aunque algunos afirmen que uno de los experimentos de la sonda Viking enviada a Marte sugiere una posible reacción bioquímica. Sin embargo, solamente en nuestra galaxia hay probablemente miles de millones de planetas, y algunos científicos están convencidos de que el Universo está rebosante de vida. De hecho, tanto Hoyle como Crick han especulado que la vida en la Tierra procede del espacio.

La posibilidad de vida extraterrestre se enfrenta con la perspectiva de la existencia de criaturas con una inteligencia considerablemente superior a la humana. Dado que la edad de la Tierra es menor que la mitad de la del Universo, puede haber planetas donde existan criaturas inteligentes desde hace miles de millones de años. Su intelecto y tecnología podrían ser inimaginablemente superiores a los nuestros. Con sus capacidades tan avanzadas podrían ejercer control sobre extensas regiones del Universo, aunque no percibamos ningún indicio de tal actividad.

La existencia de inteligencias extraterrestres tendría un impacto profundo sobre la religión, en cuanto destruiría por completo la perspectiva tradicional de un Dios que tiene una especial relación con el hombre. Las dificultades son particularmente agudas para la cristiandad, que postula que Jesucristo es Dios encarnado con la misión de salvar al hombre en la Tierra. La idea de una legión de

Cristos que visitan sistemáticamente cada planeta habitado y que toman la forma física de las criaturas locales tiene un aspecto un tanto absurdo. Sin embargo, ¿de qué otro modo podrían salvarse los extraterrestres?

En esta era espacial en la que aparentemente tanta gente acepta la realidad de los OVNI, las principales religiones del mundo han prestado muy poca atención a la dimensión extraterrestre. De acuerdo con Ernán McMullin, uno de los pocos teólogos que ha dirigido su atención sobre este tema, «la religión que no sea capaz de encontrar un lugar para seres extraterrestres en su concepción de las relaciones entre Dios y el Universo encontrará dificultades crecientes en los tiempos venideros.» Sería interesante saber lo que diría un teólogo extraterrestre sobre el tema.

En nuestra búsqueda de Dios, la existencia de la vida, tanto si puede explicarse de manera natural como si requiere una intervención milagrosa, nos proporciona un fuerte indicio de algún tipo de propósito en el Universo. Sin embargo, la vida como tal no es más que un estado en la jerarquía de la complejidad. La importancia de la vida reside en que es un hito en el camino hacia la mente y un vehículo para la misma. De esto vamos a ocuparnos a continuación.

VI. MENTE Y ALMA

«Pienso, luego existo.»
RENE DESCARTES

«Creo sencillamente que alguna parte del Yo o del alma humana no está sujeta a las leyes del espacio y el tiempo.»
CARL GUSTAV JUNG

No conozco ninguna religión que no enseñe que Dios es una mente. En la religión cristiana, Dios es omnisciente e infinitamente sabio. También es infinitamente libre de actuar como desee. No puede existir ninguna mente más grande que la de Dios, puesto que Dios es el Ser Supremo.

Sin embargo, ¿qué es la mente?

Esta candente cuestión ha sido debatida durante largo tiempo por teólogos y filósofos. En la actualidad, sin embargo, el estudio de la mente entra dentro del terreno de la ciencia a través de la psicología y el psicoanálisis y, más recientemente, de la investigación del cerebro y de la "inteligencia artificial". Estas disciplinas han arrojado una luz completamente nueva sobre el viejo enigma de la mente y su relación con el mundo material, lo cual ha repercutido profundamente en la religión. Las únicas mentes de que tenemos experiencia directa son aquellas asociadas con el cerebro y posiblemente con los computadores. Sin embargo, nadie sugiere seriamente que Dios o las almas de los difuntos tengan cerebro. Sin embargo, ¿tiene algún sentido hablar de un alma totalmente separada del cuerpo y del Universo físico? En este capítulo y en el siguiente examinaremos los temas de la conciencia, el yo y el alma y nos preguntaremos si el alma puede sobrevivir a la muerte del cuerpo.

Es conveniente marcar desde el principio una clara distinción entre el mundo físico y el mundo mental. El mundo físico está poblado de objetos materiales que ocupan lugares en el espacio y que tienen propiedades como la extensión, la masa, la carga eléctrica, etcétera. Estos objetos no son inertes, sino que se mueven, cambian y evolucionan de acuerdo con leyes dinámicas cuyo estudio constituye una de las ramas de la física. El mundo físico es (en gran medida) un mundo público, accesible a cualquiera mediante la observación.

En contraste, el mundo mental no está poblado por objetos materiales, sino por pensamientos. Los pensamientos no están localizados en el espacio, sino que parecen ocupar un Universo propio que, además, es privado, inaccesible a los demás observadores. Los pensamientos pueden cambiar, evolucionar, interactuar y comportarse cinéticamente en una variedad de maneras distintas cuyo estudio constituye una rama de la psicología.

Hasta aquí nada parece polémico. Los problemas aparecen cuando el mundo físico y el mundo mental interactúan. Nuestro Universo de pensamientos no está aislado del Universo físico que nos rodea, sino que se encuentra íntimamente ligado a él. A través de nuestros sentidos, nuestras mentes reciben una corriente permanente de información que genera actividad mental, tanto estimulando la aparición de nuevos pensamientos como modificando pensamientos ya existentes. Si mientras estamos leyendo un libro escuchamos un fuerte ruido en el exterior, el pensamiento: "ha habido un accidente de circulación" se entrometerá probablemente en nuestras divagaciones. Por consiguiente, el mundo físico actúa como fuente de nuevos pensamientos y tiene el efecto de reordenar el mundo mental.

A la inversa, el mundo mental actúa sobre el mundo físico mediante el fenómeno de la volición. Decidimos investigar el ruido y nuestras piernas se mueven, dejamos el libro encima de una mesa y abrimos una puerta. Los pensamientos que se producen en nuestra mente desencadenan actividad física gracias a la mediación de nuestro cuerpo, el cual puede disponer de manera distinta los objetos que nos rodean. Casi todo lo que vemos a nuestro alrededor es el resultado de actividad mental realizada a través de operaciones físicas. Las casas, las calles, los campos de trigo, los molinos de viento surgieron de algún tipo de actividad intelectual, de

decisiones y planes que fueron transformados en "realidad concreta".

A pesar de que todo esto sea evidente, no están nada claros los mecanismos por los que la materia actúa sobre la mente y mucho menos aquellos por los que actúa la mente sobre la materia.

Veamos cómo un pensamiento particular se "implanta" en la mente gracias a un estímulo externo (el fuerte ruido, por ejemplo). Las ondas sonoras alcanzan la membrana del tímpano, haciéndola vibrar. Esta vibración se transmite a través de tres delicados huesos hasta el caracol, tras lo cual la recibe una membrana que la transmite a un fluido que se encuentra dentro del oído interno. El fluido a su vez perturba unos filamentos muy sensibles que generan impulsos eléctricos. Los impulsos viajan a lo largo del nervio auditivo hacia el cerebro, donde la señal eléctrica penetra en una compleja red electroquímica donde, finalmente, se registra la sensación de sonido. Pero, ¿cómo estimula de repente un suceso mental (la *sensación* de sonido) esta nítida aunque compleja cadena de interacciones físicas? ¿Qué tienen de particular los procesos electroquímicos de nuestro cerebro para que *escuchemos* algo y se desencadenen una serie de pensamientos?

Más paradójica aún es la reacción. Decidimos investigar el sonido. Nuestras piernas se ponen en movimiento. ¿Qué procesos tienen lugar para que esto ocurra? Las células cerebrales (neuronas) se activan, transmitiendo los mensajes a los músculos a través de los nervios. Los músculos se tensan y nos movemos.

En una primera aproximación, el físico entiende esta actividad cerebral como una serie de procesos que tienen lugar en un complejo circuito eléctrico, con conexiones de entrada y salida representadas por las diversas ramificaciones nerviosas que llegan hasta los órganos y los músculos. Dado que los físicos están completamente familiarizados con las leyes de los circuitos eléctricos, es lícito suponer que, si fuera factible disponer de la

estructura eléctrica de nuestro cerebro (un diagrama completo de la instalación y un completo control de las señales de entrada), entonces sería posible predecir exactamente, por medio de un cálculo prodigioso, las señales de salida de esta red eléctrica y, por tanto, inferir lo que haríamos a continuación, por ejemplo, investigar o no el ruido. Las señales eléctricas lo determinarían.

Realmente, nadie supone en ningún momento que se pueda realizar tamaña predicción. El punto importante a destacar es que si identificamos el cerebro con una masa enmarañada de circuitos eléctricos, entonces es un órgano completamente determinista y, por tanto, predecible (al menos en principio). Las neuronas transportan los impulsos eléctricos hasta los músculos que accionan las piernas debido a que la distribución de corrientes eléctricas en el cerebro toma una forma determinada. Una distribución distinta no activaría las neuronas y permaneceríamos inmóviles.

Hay algo paradójico en el hecho de que cada uno de estos prosaicos sucesos físicos relacionados con impulsos eléctricos ordinarios tiene su réplica mental: ¿Qué es este ruido? ¿Se ha roto algo? ¿Debería investigarlo? Decidimos que "sí" y las neuronas se activan. Aunque hasta aquí la descripción mental es consistente con la física, existe un elemento crucial que no encaja y es el hecho de que *decidimos* investigar el ruido. El movimiento de las piernas es un resultado de un acto consciente de voluntad, una elección. ¿Queda lugar para el *libre albedrío* en las leyes predictivas totalmente deterministas de los circuitos eléctricos?

Una respuesta posible es considerar la mente como un operario que controla una máquina complicada. Del mismo modo que el operador de una central eléctrica manipula varios conmutadores para encender las luces de una ciudad, la mente activa las neuronas para hacer funcionar el cuerpo de acuerdo con sus decisiones. Ahora bien, ¿cómo la decisión consciente de investigar un ruido *causa* la activación de las células cerebrales

pertinentes? ¿Qué hay de las leyes de los circuitos eléctricos que se supone determinan las señales de salida? ¿Se violan estas leyes? ¿Puede la mente actuar sobre la materia desafiando los principios fundamentales de la física? ¿Son los procesos físicos y los procesos mentales dos causas distintas de movimiento en el mundo material: una debida a los procesos físicos ordinarios y la otra debida a los procesos mentales?

El enigma del libre albedrío y el mecanismo de interacción de la mente con la materia será tratado con más detalle en el capítulo 10. Sin embargo, nuestros problemas no acaban aquí. Todavía no hemos descubierto qué es la conciencia y de dónde surge. ¿Tienen conciencia los chimpancés y los perros? ¿Y las ratas, las arañas, los gusanos, las bacterias o los computadores? ¿Tiene conciencia un feto humano de ocho meses? ¿Y de un mes? ¿Y de un segundo?... Pocas personas contestarán afirmativamente a cada una de estas preguntas. Parece como si la conciencia fuera algo que aumentara gradualmente, una cualidad que se pudiera cuantificar de alguna forma, de modo que, por ejemplo, en una escala del uno al cien, asignaríamos 100 a un ser humano, 90 a un chimpancé, 50 a un perro, 5 a una rata, 2 a un feto de cinco meses, 0,1 a una araña y así sucesivamente. O, quizá, no es así; quizá existe un "umbral de desarrollo" a partir del cual la conciencia florece abruptamente como la gasolina que se inflama bruscamente cuando la temperatura alcanza un cierto valor crítico?

¿Cómo podemos reconocer la conciencia cuando la vemos? Cada uno de nosotros tiene experiencias directas de la propia conciencia. Sin embargo, dado que nuestra conciencia se encuentra localizada en un universo privado y no físico, formado de pensamientos y sensaciones, no es posible que pueda ser observada por nadie más. Por el contrario, solamente podemos inferir que los demás tienen conciencia a partir de su comportamiento y de nuestra comunicación con ellos a través del mundo físico. Jones dice a Smith

que él, Jones, es consciente, y Smith, observando que Jones parece un sujeto bastante normal y está llevando el diálogo de manera coherente, le cree. Si Jones fuera mudo, o si hablara un oscuro dialecto esquimal, Smith todavía llegaría a la misma conclusión observando la conducta de Jones, prestando especial atención a sus respuestas frente a los estímulos, a la ejecución de tareas complejas, etc.

En el caso de un perro, nos movemos en un terreno mucho menos firme. La comunicación perro-hombre es mínima y bastante ambigua. La mayor parte del comportamiento del perro parece ser instintivo e inconsciente. Sin embargo, pocos propietarios de perros estarían dispuestos a admitir que sus perros no son conscientes ni inteligentes, aunque su mente sea menos desarrollada (en algún oscuro sentido) que la de los humanos. Ahora bien, cuando se trata de animales inferiores, como las arañas, se hace difícil sostener que tengan mente. Es verdad que descubrimos en ellos una conducta ordenada, pero es fácil convencerse de que es automática, programada por el instinto.

Considerando esta progresión descendente, es fácil persuadirse de que hay una asimetría en la manera en que desaparecen el aspecto activo y el aspecto pasivo de la mente. Ser consciente en el sentido de registrar datos sensoriales es algo menos sofisticado que la capacidad de planear, decidir y actuar. Un bebé recién nacido experimenta sin duda sensaciones provocadas por los estímulos corporales externos, pero su conciencia es casi enteramente pasiva. Quizá las arañas saben lo que sucede a su alrededor, pero tienen una capacidad extremadamente limitada para responder de forma no refleja. Se dice a menudo que la capacidad de valorar situaciones, planear y actuar consecuentemente es exclusivamente humana Esto seguramente no es cierto (especialmente si existe vida inteligente extraterrestre). Sin embargo, puede ocurrir que estas cualidades más activas de la mente estén ligadas

no sólo a la conciencia sino a la *autoconciencia* (un tema que será discutido más a fondo en el próximo capítulo). Es posible que el concepto del yo no esté bien desarrollado en los animales.

El fulgurante desarrollo de los computadores electrónicos nos ha hecho dirigir la atención a los mecanismos que se esconden bajo las capacidades mentales humanas y nos ha conducido a la investigación de la relación entre la mente y el cerebro. En el centro de este estudio subyace la cuestión de si las máquinas pueden pensar…

Este no es el momento para repasar la extensa bibliografía y la gran diversidad de opiniones sobre la llamada "inteligencia artificial". Todos los expertos están como mínimo de acuerdo en que al menos por ahora, incluso los computadores más avanzados son incapaces de reproducir el funcionamiento de la mente humana.

Como es bien sabido, los computadores pueden realizar de una manera extraordinariamente más eficiente que las personas operaciones matemáticas, funciones de archivo, e incluso pueden jugar al ajedrez mucho mejor que la mayoría de los jugadores Sin embargo están muy mal capacitados para componer música y poesía. Esta disparidad tiene menos que ver con el *hardware* (parte física o estructura) de los computadores que con la forma en que están programados *(software).* La mayoría de los computadores están diseñados para realizar tareas específicas de bajo nivel (como grandes cantidades de operaciones aritméticas), donde la Velocidad y la precisión son el criterio primordial. Un computador que cometa errores, esté disgustado, tenga "días de descanso" Q se comporte de cualquier otra manera errática, es de poca utilidad para los usuarios, a pesar de que la posesión de estas características irracionales le haga más próximo a la condición humana. Desde luego nadie tiene la más mínima idea de cómo programar un computador con tales cualidades humanas; ni tan sólo se sabe si existe esta posibilidad.

Tampoco se sabe demasiado del funcionamiento del cerebro humano a este respecto.

A pesar de las actuales limitaciones tecnológicas la cuestión de si las máquinas pueden tener "mente" (al menos en principio) es un tema candente. Quien haya tenido la experiencia de usar un potente computador habrá descubierto pronto que, en un sentido limitado, éste puede comunicarse con su operador de una manera casi humana. Las modernas técnicas "interactivas" permiten que tenga lugar un diálogo sofisticado, con preguntas y respuestas, aunque el alcance de la conversación sea muy limitado.

Ya he mencionado que la existencia de otras mentes sólo puede deducirse por analogía. Si uno se pregunta: "¿Cómo sé que Smith posee una mente?", la respuesta sólo puede ser: "Yo poseo una mente, Smith se comporta como yo, habla como yo, declara tener una mente, como yo, por tanto debo concluir que él también tiene mente." Pero este razonamiento podría ser aplicado tanto a una máquina como a un ser humano. Dado que no podemos ocupar nunca la mente de otro ser humano y experimentar directamente su conciencia (si pudiéramos, la persona que habríamos ocupado ya no sería él sino nosotros), cualquier hipótesis que hagamos sobre la existencia de otras mentes es un acto de fe. De manera que la respuesta a la pregunta "¿pueden pensar las máquinas?" debe ser que no hay razón alguna para colocar al hombre por encima de las máquinas en cuanto al rendimiento en ciertas tareas intelectuales, único criterio éste por el que se pueden juzgar las experiencias "internas" de la máquina. Si se pudiera construir una máquina que respondiera de la misma forma que un ser humano a todas las influencias externas, no habría entonces razones objetivas para decir que la máquina careciese de conciencia o fuera incapaz de pensar. Además, si estamos dispuestos a admitir que los perros piensan o que las arañas o las hormigas poseen una conciencia rudimentaria,

entonces incluso los computadores actuales podrían ser considerados conscientes en este sentido limitado.

En 1950, el matemático Alan Turing se ocupó de la pregunta "¿pueden pensar las máquinas?" en un artículo titulado «Computadores e inteligencia» publicado en la revista *Mind*. Propuso un sencillo experimento para encontrar la respuesta. Turing lo llamó el «juego de las imitaciones». Un hombre y una mujer se colocan en habitaciones separadas y un interrogador debe descubrir a través de un teletipo quién es el hombre y quién la mujer mediante una serie de preguntas. Tanto el hombre como la mujer deben tratar de convencer al interrogador de que pertenecen al sexo femenino. Por consiguiente, el hombre tiene que ser un sagaz y consumado mentiroso. El test de Turing consiste en reemplazar al hombre por un computador. Turing mantiene que si la máquina es capaz de convencer al interrogador de que es una mujer, entonces es que la máquina realmente piensa.

Se han desplegado un gran número de argumentos en contra de la existencia de una inteligencia artificial tan desarrollada. Se dice, por ejemplo, que los computadores, limitados como están a unos modos de operación lógicos, estrictamente racionales, son impasibles autómatas fríos, calculadores, inhumanos é inexpresivos. Dado que su funcionamiento es automático, sólo serán capaces de hacer aquello para lo que hayan sido programados por sus operadores humanos. Ningún computador puede liberarse y convertirse en un individuo automotivado y creador, capaz de amar, reír, llorar o ejercitar su libre albedrío. No es menos esclavo de sus controlado-res que un motor de automóvil.

Este argumento es un arma de dos filos. En el plano neurológico (células cerebrales), el cerebro humano es igualmente mecánico y está sujeto a principios racionales. Sin embargo, esto no impide que experimentemos sentimientos irracionales de indecisión, confusión, felicidad y aburrimiento.

La principal objeción religiosa a la idea de la inteligencia artificial es que las máquinas no pueden tener alma. Ahora bien, el concepto de alma es desesperadamente vago. Originariamente, estaba inextricablemente ligado a la idea de una fuerza animadora o vital. La Biblia tiene muy poco que decir sobre el tema, especialmente el Antiguo Testamento. Las primeras referencias bíblicas presentan el alma como sinónimo de aliento de vida, pero el concepto se hace más elaborado en el Nuevo Testamento, donde se identifica el alma con el yo y adquiere las características de lo que hoy llamamos mente. De hecho, el uso de la palabra alma ha decaído en la era moderna y está en la actualidad prácticamente reservado a círculos teológicos. Incluso la Enciclopedia Católica se contenta con definir el alma como la "fuente de la actividad pensante". La relación entre el alma y la mente siempre ha sido bastante vaga. En lo que sigue, usaremos los dos términos indistintamente.

La idea principal de cualquier doctrina religiosa es que el alma (o la mente) es una *cosa,* y que se debe establecer una drástica distinción entre el cuerpo y el alma. Esta llamada teoría dualista de la mente (o del alma) fue desarrollada por Descartes y ha sido ampliamente incorporada al pensamiento cristiano. También está próxima a las creencias de la mayoría de las personas. El dualismo está tan implantado en nuestra cultura y en nuestro lenguaje que Gilbert Ryle en su libro *El concepto de la mente* lo llama la «doctrina oficial.»

¿Cuáles son las características de la teoría dualista de la mente? La "doctrina oficial" dice más o menos lo siguiente: El ser humano consta de dos partes distintas y separadas: el cuerpo y la mente. El cuerpo actúa como una especie de receptáculo de la mente, quizá incluso como una prisión para liberarse de la cual es necesaria una purificación espiritual o la muerte del cuerpo. La mente está vinculada al cuerpo a través del cerebro, que utiliza

(mediante los sentidos corporales) para adquirir y almacenar información sobre el mundo. También utiliza el cerebro como un medio para ejercitar su voluntad, actuando sobre el mundo del modo que se ha descrito anteriormente en este mismo capítulo. Sin embargo, la mente no está localizada en el cerebro ni en cualquier otra parte del cuerpo ni, en definitiva, en ninguna otra parte del espacio (estoy descartando aquí la doctrina "no oficial" de algunos místicos y espiritualistas que afirman haber sido testigos de una especie de cuerpo etéreo o aura en estrecha relación espacial con el cuerpo físico).

Una característica importante de esta concepción es que la mente es una cosa; más específicamente, una sustancia. No una sustancia física, sino un tipo de sustancia etérea y escurridiza que constituye el material de que están hechos los pensamientos y los sueños, libres e independientes de la materia.

R. J. Hirst resume la concepción cartesiana del cuerpo y el alma del siguiente modo:

Las nociones esenciales parecen ser, en primer lugar, que existen dos órdenes o categorías distintos de seres o sustancias, el mental y el material. La mente o la sustancia mental no es ni perceptible por los sentidos ni se extiende en el espacio; es inteligente y su característica esencial es el pensamiento, o mejor dicho, la conciencia.

Ryle lo expresa así:

A pesar de que el cuerpo humano es un motor, no es un motor ordinario, dado que algunas de sus funciones están gobernadas por otro motor en el interior del primero, siendo este segundo motor de una clase muy especial. Es invisible, inaudible y no tiene ni peso ni tamaño. No puede ser reducido a pedazos y las leyes que la gobiernan no son las que conocen los ingenieros.

Ryle apoda este regulador interior "el fantasma de la máquina".

Parece que la cualidad insustancial del alma es necesaria por dos razones. En primer lugar, no vemos ni detectamos las almas directamente, ni siquiera con ayuda de la cirugía cerebral. En segundo lugar, el mundo material debe satisfacer las leyes de la física, que, en el mundo macroscópico (ignorando los efectos cuánticos), son deterministas y mecánicas y, por tanto, incompatibles con el libre albedrío, un atributo fundamental del alma (el razonamiento es erróneo, como veremos a su debido tiempo). Sin embargo, con ello sólo se nos dice lo que el alma *no es* y no lo que *es.* Es muy posible que se haya intentado dar una sensación de realidad a la idea de la mente o del alma aplicándole palabras sin sentido. La mente no es mecánica y por tanto es "no mecánica"; como si este adjetivo tuviera algún sentido para nosotros. Según Ryle, «las mentes no son piezas de relojería, sino justamente todo lo contrario».

Otra dificultad reside en determinar dónde se encuentra localizada el alma. Si no está en el espacio, ¿dónde está? (Es interesante destacar que Descartes creía que el alma se albergaba en la pequeña glándula pineal, en el cerebro, o que ésta al menos era la estructura que proporcionaba la escurridiza conexión física entre el alma y el cerebro.) ¿Puede la física moderna, con sus misteriosos conceptos de espacio curvo y nuevas dimensiones, encontrarle una localización adecuada?

Hemos visto que el espacio y el tiempo de los físicos es una especie de lámina cuatridimensional (o quizá un globo) con la posibilidad de que existan otras láminas independientes. ¿Podría residir el alma en uno de estos otros universos? Por otro lado, el espacio-tiempo puede estar encajado o contenido en un espacio de dimensión superior, del mismo modo que una hoja de papel bidimensional está contenida en un espacio tridimensional. ¿No

podría el alma ocupar un lugar en este espacio de más dimensiones, espacio que estuviera (desde un punto de vista geométrico) cercano a nuestro espacio-tiempo físico pero no realmente contenido en él? Desde esta ventajosa nueva dimensión, el alma podría "estar encerrada" en el cuerpo de un individuo en el espacio-tiempo, sin formar ella misma parte del espacio-tiempo.

Quienes deseen creer que después de la muerte las almas se van al Cielo deben buscar una explicación más complicada, puesto que, presumiblemente, el lugar que habitan las almas durante la vida terrenal no es el Paraíso. Si estas ideas ponen a prueba tanto la credulidad como la intuición geométrica, quizá se deba a la controvertible hipótesis de que el alma se encuentra en alguna parte. Decir que el alma ocupa un *lugar* quiere decir que existe en un cierto espacio, que puede ser el que percibimos de ordinario o algún otro. En este caso cabe plantearse preguntas sobre el tamaño, forma, orientación y movimiento del alma, conceptos inadecuados cuando se trata de describir algo compuesto de pensamientos.

Sin embargo, la reserva de ideas de la física moderna todavía no se ha agotado. Como vimos en el capítulo 3, algunos físicos consideran que el espacio y el tiempo son conceptos derivados más que primitivos. Creen que el espacio-tiempo está compuesto de subunidades (no lugares ni momentos sino entidades abstractas) que pueden poseer características cuánticas. Podría ocurrir entonces que el Universo físico se extendiera más allá (en un sentido figurado) de lo que ordinariamente entendemos por espacio-tiempo; que solamente una fracción de estas subunidades se haya agrupado de una manera organizada para producir el espacio-tiempo, dejando "en alguna otra parte" una especie de océano de pedazos inconexos sin ninguna relación. ¿Podría ser este océano el reino del alma? Si fuera así, el alma no ocuparía un lugar, puesto que las subunidades no estarían ensambladas en lugares, y conceptos tales como extensión u orientación no serían aplicables. Ni siquiera los

conceptos topológicos como "dentro", "fuera", "entre", "conectado" y "desconectado" estarían definidos. Dejo abierta la cuestión.

Surgen otros problemas cuando se considera el tiempo. El alma no está localizada en el espacio, pero ¿lo está en el tiempo? Presumiblemente la respuesta es afirmativa. Si el alma es la fuente de nuestras percepciones, lo será también de nuestra percepción del tiempo. Además, muchos procesos mentales reconocibles son explícitamente dependientes del tiempo: por ejemplo, la planificación, la esperanza o el arrepentimiento.

Un alma atemporal presenta graves dificultades lógicas. Por ejemplo, ¿qué sentido debemos dar a la existencia del alma *después* de la muerte si el alma trasciende la relación antes-después? ¿Qué podemos decir de la situación del alma antes del nacimiento del cuerpo? La Enciclopedia Católica trata este tema con un cierto sentido del humor:

La noción de que Dios tiene una provisión de almas que no están en ningún cuerpo en particular hasta que Él las infunde en los embriones humanos está totalmente injustificada. El alma es creada por Dios en el momento en que la infunde en la materia.

El mensaje es claro. Hay épocas (antes del nacimiento) en que el alma no existe. Estas ideas están en franca contradicción con la idea de que el alma trasciende el tiempo.

El mismo dilema temporal básico se encuentra en todas las discusiones sobre la inmortalidad. Por un lado está el deseo de la continuación de nuestra personalidad tras la vida terrenal (no tan sólo en una pasiva existencia atemporal, sino conllevando algún tipo de actividad). Jesús habló de "la vida eterna", lo cual tiene connotaciones de un transcurrir ilimitado del tiempo.

Por otro lado, estas nociones están íntimamente ligadas a nuestra percepción del tiempo en el mundo físico y están en

desacuerdo con la supuesta separación de los reinos material y espiritual. Las cosas se complican aún más si se contempla la posibilidad (que se discutirá en el capítulo 15) de que el tiempo tenga fin. Es muy posible que no pueda existir nada "eterno".

Estos argumentos, y otros más, han hecho pensar a mucha gente que los conceptos de alma o mente y su inmortalidad son falsos e incoherentes.

Los filósofos han considerado varias alternativas al dualismo. En un extremo está el materialismo, que niega absolutamente la existencia de la mente. El materialista cree que las operaciones y los estados mentales no son más que estados físicos. En el campo de la psicología materialista esto se convierte en lo que se conoce como conductismo, escuela que proclama que todos los seres humanos se comportan de una manera totalmente mecánica en respuesta a estímulos externos. En el otro extremo está la filosofía del idealismo, según la cual es el mundo físico el que no existe; todo es percepción.

En mi opinión, la teoría dualista cae en la típica trampa de buscar una sustancia (la mente) para explicar lo que realmente es un concepto abstracto y no un objeto. La tentación de reducir a cosas conceptos abstractos es una constante a lo largo de la historia de la ciencia y de la filosofía, ilustrada por desacreditados conceptos como el flogisto, el éter luminoso y la fuerza vital. En todos estos casos, los fenómenos asociados o complejos requieren una explicación en términos de conceptos abstractos, como el de energía o el de campo.

El hecho de que un concepto sea abstracto y no sustancial no hace de él algo ilusorio o irreal. La nacionalidad de una persona no puede medirse ni pesarse ni ocupa ningún lugar en nuestros cuerpos; sin embargo, es algo importante y significativo en nuestras vidas, como sabe muy bien, por desgracia, cualquier apátrida. Conceptos tales como utilidad, organización, entropía e información

no conciernen a "cosas", es decir, a objetos, sino a relaciones entre ellos.

El error fundamental del dualismo consiste en tratar el cuerpo y el alma como si fueran las dos caras de una moneda, mientras que pertenecen a categorías totalmente distintas. Ryle cree que este error es el culpable del desorden, la confusión y las paradojas que aquejan a la mente y sus vinculaciones con el cuerpo:

Es perfectamente correcto decir en un tono lógico de voz que existen mentes y decir, en otro tono lógico, que existen cuerpos. Pero estas expresiones no indican dos clases distintas de existencias.

Las afirmaciones "existen rocas" y "existen miércoles" son ambas correctas, pero no tendría ningún sentido colocar las rocas y los miércoles uno al lado del otro y discutir su interrelación. O, para emplear una de las analogías de Ryle, sería absurdo discutir sobre si ha habido algún diálogo entre la Cámara de los Comunes y la Constitución Británica. Estas instituciones pertenecen a diferentes niveles conceptuales.

Ryle, de este modo, se anticipa a la discusión "holística" de estos últimos años. Como vimos en el capítulo anterior, la relación entre la mente y el cuerpo es semejante a la que existe entre una colonia de hormigas y las hormigas individuales, o entre el argumento de una novela y las letras del alfabeto. La mente y el cuerpo no son dos componentes de una dualidad, sino dos conceptos enteramente distintos pertenecientes a dos planos diferentes de una jerarquía de descripción. De nuevo nos encontramos con el holismo y el reduccionismo.

Muchos de los viejos problemas del dualismo desaparecen al apreciar que los conceptos abstractos de alto nivel pueden ser tan reales como las estructuras de bajo nivel que los sostienen, sin necesidad de introducir misteriosas sustancias. Del mismo modo

que no hace falta apelar a una fuerza vital para explicar la materia animada, tampoco es necesaria el alma para que la materia se haga consciente:

Nuestro mundo está lleno de cosas que no tienen nada de misteriosas ni fantasmales y que, sin embargo, no están construidas de manera sencilla a partir de los bloques estructurales de la física. ¿Existen las voces?, y los cortes de pelo ¿qué son?, ¿qué es un agujero en el lenguaje de los físicos?, no ya un exótico agujero negro sino, por ejemplo, un agujero en un pedazo de queso, ¿es algo físico? ¿Qué es una sinfonía?, ¿qué región del espacio y el tiempo ocupa la "Quinta Sinfonía"? ¿No es más que unos trazos de tinta sobre una partitura? Aunque se destruya el papel, la música continuará existiendo. El latín todavía *existe,* pero ya no es una lengua viva. La lengua que hablaban los hombres de las cavernas ha desaparecido completamente. El juego del bridge tiene menos de cien años. ¿Qué es? No es ni un animal, ni un vegetal ni un mineral.

Estas cosas no son objetos físicos con masa o composición química, pero tampoco son objetos puramente abstractos como el número 7r, que es inmutable y no puede ser localizado en el espacio y el tiempo. Estas cosas tienen historia y lugar de nacimiento. Pueden cambiar. Aparecen y desaparecen como las especies, las enfermedades o las epidemias. No debemos suponer que la ciencia enseña que cada *cosa* digna de ser tomada en serio es una colección de partículas que se mueven en el espacio y el tiempo. Alguien puede pensar que es de sentido común (o de buen sentido científico) suponer que no *somos* nada más que un organismo físico viviente, un montón de átomos en movimiento. Pero de hecho esta idea es una muestra de falta de imaginación científica. No es necesario creer en fantasmas para creer en un *yo* con una identidad que trasciende cualquier cuerpo vivo particular.

El cerebro está hecho de miles de millones de neuronas ignorantes del plan general, del mismo modo que la colonia de

hormigas del capítulo anterior. Éste es el mundo físico, mecánico, del *hardware* electroquímico. Por otro lado, tenemos pensamientos, sensaciones, emociones, voluntades, etc. Este mundo *mental,* en el plano superior u holístico, no es tampoco consciente de las células cerebrales; podemos pensar tranquilamente sin ser conscientes de la existencia de nuestras neuronas. Sin embargo, el hecho de que el nivel inferior esté regido por una necesidad lógica no contradice el hecho de que el nivel mental superior pueda ser ilógico y emocional. Hofstadter ha dado una vivida ilustración de esta complementariedad neurológica-mental:

Supongamos que no sabemos si pedir una hamburguesa con queso o una hamburguesa con pina. ¿Implica esto que nuestras neuronas están también dudando que tienen dificultades para decidir si van a activarse o no? Desde luego que no. Nuestro dilema de las hamburguesas es un estado de alto nivel que depende totalmente del funcionamiento eficiente de miles de neuronas organizadas.

Consideremos una analogía. Una novela escrita correctamente consiste en una serie de construcciones gramaticales con arreglo a unas reglas lógicas bastante precisas de lenguaje y expresión. Esto no impide que los personajes de la novela amen y rían, o que se comporten como rebeldes. Es absurdo pretender que, porque el libro conste de construcciones lógicas de palabras, la historia debe cumplir una serie de rígidos principios lógicos. Aquí se están confundiendo dos planos distintos de descripción. MacKay insiste en la importancia de evitar esta confusión de niveles al discutir la actividad neurológica y la actividad mental: «La idea de que una única situación requiera dos o más explicaciones, ambas *completas* en su propio nivel lógico, es quizá abstracta y difícil, pero, como hemos visto, puede ilustrarse mediante numerosos ejemplos.» MacKay señala que su analogía del anuncio luminoso admite una explicación

completamente correcta en términos de circuitos eléctricos y otra en términos del mensaje comercial: «Cuando se consideran en su propio contexto, estas dos descripciones no son antagónicas, sino complementarias, en cuanto cada una revela un aspecto con el que hay que contar pero que no se menciona en la otra.»

En lo que se refiere a la mente, escribe:

La noción popularizada por escritores como Teilhard de Chardin de que, si el hombre es consciente, debe haber algunas trazas de conciencia en los átomos, no tiene ninguna base racional... La conciencia no es algo que nos veamos obligados a reconocer al cabo de una explicación lógica basada en el comportamiento de las partículas físicas...

En términos más modernos, la mente es holística.

Nada de esto, desde luego, excluye la posibilidad de mentes artificiales, máquinas pensantes y demás. Es curioso que mucha gente que acepta fácilmente que sus perros y gatos son inteligentes, se estremezca ante la idea de que un computador lo sea. Quizá se trate de una reacción egocéntrica ante la amenaza de que algún día los computadores tengan mentes intelectualmente superiores a las nuestras, pero es posible que sea algo más sutil.

La descripción en dos planos de la mente y el cuerpo representa un gran avance respecto a las viejas ideas del dualismo (que considera la mente y el cuerpo como dos sustancias distintas) o el materialismo (que niega la existencia de la mente). Se trata de una filosofía que ha ido ganando terreno rápidamente en las llamadas ciencias cognoscitivas: inteligencia artificial, informática, lingüística, cibernética y psicología. Todos estos campos de investigación estudian sistemas que procesan información de una o de otra manera, ya sean hombres o máquinas. El desarrollo de unos conceptos y un lenguaje asociados con los computadores —como la distinción entre *hardware* y *software*— ha abierto nuevas perspectivas

en lo que respecta a la naturaleza del pensamiento y la conciencia. Ha forzado a los científicos a pensar con más rigor sobre la mente.

Estos avances científicos se han visto correspondidos por la aparición de una nueva filosofía de la mente, estrechamente ligada a las ideas acabadas de presentar. Se trata del funcionalismo. Según los funcionalistas, el ingrediente esencial de la mente no es el *hardware* (la materia cerebral), sino el *software* (el "programa" o la organización de esta materia). No niegan que el cerebro sea una máquina y que las neuronas funcionen a causa de impulsos eléctricos (no hay causas mentales de procesos físicos). Sin embargo, todavía recurren a las relaciones causales entre los estados mentales. Para decirlo en pocas palabras: los pensamientos causan pensamientos, a pesar de que en el plano del *hardware* ya se hayan forjado los vínculos causales.

La mayoría de programadores de computador no ven ninguna incompatibilidad entre las conexiones causales en cada uno de los dos planos del *hardware* y del *software.* En un cierto momento afirmarán: «El computador no es más que un montón de circuitos y todo cuanto puede hacer está determinado por las leyes de la electrónica. La salida de resultados es una consecuencia automática del paso de una serie de impulsos eléctricos por ciertos caminos predeterminados.» Inmediatamente después hablarán de cómo el computador resuelve una ecuación, estableciendo comparaciones y decisiones y llegando a conclusiones basadas en el procesamiento de la información. De modo que es posible admitir dos niveles distintos de descripción causal *(hardware* y *software)* sin tenernos que preocupar por cómo el *software* actúa sobre el *hardware.* El viejo enigma de cómo actúa la mente sobre el cuerpo es una confusión de planos conceptuales. Nunca nos preguntamos cómo el programa del computador consigue que los circuitos resuelvan la ecuación; así, tampoco debemos preguntarnos cómo los pensamientos activan las neuronas para producir respuestas corporales.

¿Qué consecuencias tiene el funcionalismo para la religión?

Parece ser una espada de doble filo. Por un lado, el funcionalismo niega que la mente sea exclusivamente humana, y afirma que las máquinas pueden, al menos en principio, pensar y sentir. Es difícil reconciliar esto con la noción tradicional de que Dios dota al hombre de alma. Por otro lado, al liberar la mente de su confinamiento en el cuerpo humano, deja abierta la cuestión de la inmortalidad:

La descripción de la mente en términos de software no requiere lógicamente las neuronas... permite la existencia de mentes separadas del cuerpo... El funcionalismo no descarta la posibilidad, por muy remota que pueda parecer, de sistemas mecánicos y etéreos en los que se produzcan procesos y estados mentales.

El funcionalismo borra de un plumazo la mayoría de las inquietudes tradicionales sobre el alma. ¿De qué está hecha el alma? La pregunta tiene tan poco sentido como preguntar de qué está hecha la nacionalidad o de qué están hechos los miércoles. El alma es un concepto holístico. No está hecha de nada.

¿Dónde se encuentra el alma? En ninguna parte. Decir que el alma se encuentra en algún lugar es tan absurdo como intentar localizar el número siete o la quinta sinfonía de Beethoven. Estos conceptos no están en el espacio.

¿Qué se puede decir de los problemas sobre el tiempo y el alma? ¿Tiene algún sentido decir que el alma existe en el tiempo pero no en el espacio?

Aquí nos movemos en un terreno mucho más sutil. Se habla, por ejemplo, del aumento del desempleo o del cambio de la moda, de modo que estas cosas tienen una dependencia temporal y no pueden, en cambio, ser localizadas espacialmente en ningún lugar determinado. No parece que haya ninguna razón en contra de que la

mente pueda evolucionar en el tiempo, aunque no ocupe ningún lugar en el espacio.

Podemos rechazar, por tanto, la creencia de que la mente no es más que la actividad de las células cerebrales, puesto que ello supone caer en la trampa del reduccionismo. Sin embargo, parece que la existencia de la mente está sostenida por esta actividad. La cuestión que se plantea a continuación es cómo pueden existir mentes separadas del cuerpo. Para recurrir otra vez a una analogía, un libro está hecho de palabras, pero, por ejemplo, la historia podría estar grabada en una cinta magnética, codificada en tarjetas perforadas o digitalizada por un computador. ¿Puede la mente sobrevivir a la muerte del cerebro siendo transferida a otro mecanismo o sistema? En principio, parece posible.

La mayoría de la gente, sin embargo, no cree en la supervivencia de su personalidad total; gran parte de nuestro carácter está ligado a nuestras necesidades y capacidades corporales. Por ejemplo, en ausencia de un cuerpo o de la necesidad de procreación, la sexualidad carece de sentido. Muchas personas tampoco desearían que sobrevivieran los aspectos negativos de su personalidad, los celos, la avaricia, el odio, etc. El núcleo perdurable de la mente debería despojarse de sus más obvias asociaciones corporales y características desagradables. Pero, ¿quedaría algo? ¿Qué quedaría de la identidad personal, del *yo?*

VII. EL YO

«Cada ser es una creación divina.»
SIR JOHN ECCLES

«Mi único pesar en la vida es no ser otra persona.»
«Pienso, luego existo.»
WOODY ALLEN

¿Qué somos? Cada uno de nosotros tiene en su conciencia un profundo sentimiento de identidad personal. A medida que crecemos y nos desarrollamos, nuestros gustos y opiniones cambian, nuestra visión del mundo se modifica y aparecen nuevas emociones. Pese a todos estos cambios, nunca dudamos de que seamos la misma persona. Somos nosotros los que tenemos estas experiencias cambiantes. Las experiencias nos ocurren a nosotros. Pero, ¿qué es el "nosotros" que tiene estas experiencias? He aquí el ancestral misterio del yo.

Al pensar en otras personas las identificamos sobre todo con sus cuerpos y en menor grado con sus personalidades. Sin embargo, nos vemos a nosotros mismos de una manera muy distinta. Cuando alguien se refiere a su propio cuerpo lo hace en un sentido posesivo, como cuando dice "mi casa". En cuanto a la mente, no se la considera tanto una posesión como una poseedora. Mi mente no es un mueble: Es yo mismo.

Consideramos que la mente es, por tanto, un propietario de experiencias y sentimientos, el centro o foco de los pensamientos. Mis pensamientos y mis experiencias me pertenecen; los de los otros pertenecen a los demás. En palabras del filósofo escocés Thomas Reid:

Sea lo que sea el Yo, es algo que piensa y delibera, decide, actúa y sufre. No soy pensamiento, no soy acción, no soy sentimiento. Soy algo que piensa, actúa y sufre.

Los teólogos identifican de manera natural el Yo con la escurridiza sustancia mental a la que llamamos alma. Además, dado que el alma no está localizada en el espacio, no puede "romperse en pedazos" o diseminarse, de manera que la integridad del Yo está asegurada. Una de las propiedades fundamentales del "Yo" es que

es discreto e indivisible. Yo soy un individuo y soy muy diferente de otro.

Sin embargo, el concepto de mente (o alma), tal como vimos en el capítulo anterior, presenta notorias dificultades y puede dar lugar a paradojas. La pregunta de "¿Qué soy yo?" no es fácil de contestar. Como señala Ryle: «El misterio empieza en el instante en que empezamos a preguntarnos por lo que nombran los pronombres.» Sin embargo, debemos responder a esta pregunta si queremos dar algún sentido a la idea de la inmortalidad. Si tengo que sobrevivir a la muerte, ¿qué es lo que debo esperar que sobreviva?

Según David Hume, el Yo no es más que una colección de experiencias:

Cuando me sumerjo en lo más íntimo de lo que llamo yo, siempre tropiezo con una u otra percepción particular, calor o frío, luz o sombra, amor u odio, placer o dolor. Nunca puedo atrapar mi yo si no es a través de una percepción y nunca puedo observar nada más que la percepción misma.

Si adoptamos esta filosofía, la respuesta a la pregunta "¿Qué soy yo?" es simplemente "Soy mis pensamientos y experiencias". Sin embargo, esta respuesta no es demasiado satisfactoria. ¿Pueden existir pensamientos sin un pensador? ¿Qué distingue mis pensamientos de los de los demás? En definitiva, ¿qué quiere decir "mis" pensamientos? De hecho, el propio Hume escribiría más tarde sobre su primer juicio: «Después de una revisión rigurosa de la sección referente a la identidad personal, tengo que confesar que me encuentro perdido en un laberinto.»

Debemos admitir, sin embargo, que el concepto del yo es nebuloso y que, en gran medida, las experiencias configuran el yo, aunque no completamente. Algunos aspectos del yo parecen encontrarse en la frontera de la identidad personal. Por ejemplo, ¿dónde se localizan (figuradamente) las emociones? ¿Tenemos

emociones (como se tiene un cuerpo) o son las emociones una parte integrante de nosotros? Se sabe muy bien que las emociones están fuertemente influidas por efectos físicos tales como la composición química de la sangre. Los desequilibrios hormonales pueden producir diversos desórdenes emocionales. Las drogas pueden provocar una variedad de estados mentales y disposiciones emocionales (como sabe cualquier consumidor de alcohol). La neurocirugía puede producir, de una manera mucho más drástica, grandes alteraciones de la personalidad. Todo esto nos hace reticentes a revestir el alma con demasiados atributos de la personalidad. Por otro lado, ¿qué queda si se eliminan todas las emociones? Los cristianos, por ejemplo, pueden admitir que se despoje al alma de todas las emociones negativas, pero les gustaría que el alma retuviera sensaciones de amor y reverencia. Las sensaciones moralmente neutras, como el aburrimiento, el vigor y el sentido del humor, son discutibles.

De mucha mayor importancia es la cuestión de la memoria y todo lo que se refiere a nuestra percepción del tiempo. Nuestra concepción de nosotros mismos está fuertemente enraizada en el recuerdo de nuestras experiencias pasadas. No está nada claro que en ausencia de la memoria nuestro yo tuviera algún significado. Se puede objetar que cuando una persona con amnesia se pregunta "¿Quién soy yo?" no duda en ningún momento que existe un "yo" al que el "quién" pertenece. Sin embargo, un amnésico no se encuentra totalmente privado de memoria. Por ejemplo, no tiene dificultad en servirse de los objetos cotidianos, como las copas y los platos, los autobuses y las camas. Además, su memoria a corto plazo no se ve afectada: si decide pasear por el jardín no se pregunta unos instantes después qué está haciendo allí.

Si una persona perdiera la capacidad de recordar sus experiencias de hace unos segundos, su sentido de la identidad se desintegraría completamente. Sería totalmente incapaz de actuar o

comportarse de manera coherente. Sus movimientos corporales no estarían coordinados de acuerdo con ningún modelo consciente de acción. Sería totalmente incapaz de dar ningún significado a sus percepciones y de ordenar las experiencias normales del mundo a su alrededor. La misma noción de sí mismo como algo diferente al mundo percibido sería caótica. No notaría ningún modelo o regularidad en los acontecimientos y no podría mantener ningún concepto de continuidad, especialmente de continuidad personal.

Así, es en gran medida a través de la memoria como forjamos el sentido de identidad personal y nos reconocemos como el mismo individuo día tras día. A lo largo de la vida habitamos un cuerpo, pero el cuerpo puede sufrir cambios considerables. Los átomos que lo constituyen son sistemáticamente reemplazados como resultado de la actividad metabólica; el cuerpo crece, madura, envejece y finalmente muere. Nuestras personalidades también sufren grandes cambios. No obstante, a pesar de esta continua metamorfosis creemos que somos la misma persona. Si no nos acordáramos de las fases anteriores de nuestras vidas, ¿cómo podría tener el concepto de "la misma persona" ningún significado, excepto en el sentido de la continuidad corporal?

Supóngase que un hombre pretendiera ser una reencarnación de Napoleón. Si no se pareciese a Napoleón, el único criterio mediante el que podríamos juzgar la veracidad de su afirmación sería el de la memoria. ¿Cuál era el color favorito de Napoleón? ¿Cómo se sentía antes de la batalla de Waterloo? Esperaríamos que nos proporcionara alguna información (preferiblemente verificable) para poder tomarlo en serio. Sin embargo, supongamos que el sujeto declarase que había perdido completamente la memoria de su vida anterior, excepto que se acordaba de que era Napoleón. ¿Le haríamos algún caso? ¿Qué significado tendría para él decir que "era Napoleón"?

"Lo que quiero decir" (quizá nos contestaría) "es que aunque mi cuerpo y mi memoria y, sin duda, mi personalidad entera son en la actualidad las de John Smith, el alma de John Smith no es otra que la de Napoleón Bonaparte. Yo fui Napoleón, ahora soy John Smith, pero se trata del mismo yo. Sólo mis características han cambiado." ¿No es esto increíble? ¿De qué otra manera se puede identificar la mente de una persona si no es por su personalidad o por su memoria? Pretender que hay una especie de etiqueta transferible —el alma— que está desprovista de propiedades excepto en cuanto exhibe una cierta marca de identificación mística, es algo totalmente absurdo. ¿Qué se le puede decir a quien niega su existencia? ¿Por qué no inventar almas para cada cosa, para las plantas y las nubes, para las rocas y los aviones? Se podría decir: "Esto se parece a una locomotora diesel corriente, pero de hecho contiene la esencia, el alma, de la locomotora original de Stevenson. El diseño es diferente, los materiales son diferentes, las prestaciones no se parecen en absoluto a la máquina de Stevenson, pero es en realidad la misma locomotora con otra estructura, apariencia y diseño." ¿Qué sentido tiene hacer este tipo de afirmaciones tan vacías?

Consideremos un ejemplo un poco más plausible que la reencarnación. Supongamos que un buen amigo se somete a una operación de cirugía estética, después de la cual es físicamente irreconocible. ¿Cómo saber que se trata de la misma persona? Si nos explica hechos relacionados con otras épocas de su vida, si recuerda pequeños incidentes y conversaciones personales y si muestra, en general, un buen conocimiento de sus circunstancias anteriores, estaremos inclinados a aceptar que es la misma persona. "Sin duda se trata de él. Nadie más puede saber esto o lo otro." Sin embargo, si el cirujano hubiera extirpado la mayor parte de la memoria de nuestro amigo o la hubiera dañado, nuestro juicio acerca de su identidad sería mucho menos seguro. Si hubiera perdido completamente la memoria, no tendríamos base (excepto quizá por

algún indicio corporal residual) para creer que se trataba de nuestro amigo. De hecho, no está claro que pueda considerarse a alguien sin memoria como una persona, ya que no poseería ninguna de las características coherentes, como la personalidad, que normalmente asociamos con un "individuo". Sus respuestas serían totalmente aleatorias o reflejas y su comportamiento no diferiría demasiado del de un autómata mal programado.

La dificultad con que se enfrenta el dualista que cree en la supervivencia del alma es evidente. Si el alma depende de la capacidad de memoria del cerebro, ¿cómo puede recordar nada después de la muerte del cuerpo? Y si no puede recordar nada, ¿qué derecho tenemos a atribuirle una identidad personal? ¿O debemos suponer que el alma tiene una especie de réplica no material del sistema de memoria que funciona paralelamente con el cerebro pero que puede arreglárselas por sí misma?

A veces se intenta salir de este callejón sin salida afirmando que el alma trasciende el tiempo. Del mismo modo que el alma no puede estar localizada en el espacio, tampoco lo está en el tiempo. Sin embargo, en el capítulo anterior ya vimos como esta maniobra creaba un gran número de dificultades.

Tal vez comprendamos mejor el yo si nos fijamos en un aspecto señalado por muchos filósofos: la conciencia humana no es sólo conciencia, sino autoconciencia (sabemos que sabemos). En 1690 John Locke observó que «es imposible que nadie perciba algo sin percibir que lo percibe.» El filósofo J. R. Lucas, de la Universidad de Oxford, expresó su punto de vista de la siguiente manera:

Cuando decimos que un ser consciente sabe algo, no decimos solamente que lo sabe sino que sabe que lo sabe y que sabe que sabe que lo sabe y así sucesivamente... Las paradojas de la conciencia aparecen a causa de que un ser consciente tiene conocimiento tanto de sí mismo como de las cosas que le rodean y sin embargo no puede interpretarse como algo divisible en partes.

En la misma línea, A. J. Ayer escribió: «Existe la tentación de pensar en uno mismo como un conjunto de cajas chinas, cada una de las cuales examina la que tiene en su inmediata interior.»

No hay duda de que la clave para desvelar el misterio de la mente es la autorreferencia. Ya hemos visto la importancia de la realimentación y la autoasociación en las estructuras disipativas de Prigogine, capaces de autoorganizarse, y parece natural que exista una progresión desde lo inanimado hasta la conciencia, una jerarquía de complejidad y autoorganización. Sin embargo, hay otra jerarquía subyacente a esta progresión, la jerarquía de planos conceptuales discutida en el capítulo anterior.

La vida es un concepto holístico, y el punto de vista reduccionista no revela más que átomos inanimados dentro de nosotros. La mente es también un concepto holístico, en el plano de descripción siguiente. No entenderemos mejor la mente en términos de células cerebrales (neuronas) que estas células en términos de sus constituyentes atómicos. Sería vano buscar inteligencia o conciencia en las células cerebrales (el concepto mismo de inteligencia carece de sentido en este plano). La propiedad de la autoconciencia es holística y no puede explicarse por medio de mecanismos electroquímicos cerebrales.

El estudio de la autorreferencia siempre se ha visto rodeado de un aire paradójico, no solamente en lo que respecta a la autoconciencia sino también en el arte y en la lógica y la matemática. El pensador griego Epiménides llamó la atención sobre los problemas de las oraciones autorreferentes. Normalmente suponemos que cada afirmación inteligible debe ser o verdadera o falsa. Sin embargo, consideremos la proposición de Epiménides (que llamaremos A) que se puede parafrasear como:

A: Esta oración es falsa. ¿Es A verdadera? ¿Es falsa? Si es verdadera, ella misma dice que es falsa; si es falsa, debe ser verdadera. Pero A

no puede ser a la vez verdadera y falsa, de modo que la pregunta acerca de la verdad o falsedad de A no se puede responder.

Nos encontramos con un problema similar con la paradoja de Russell en el capítulo 3. En ambos casos, se llega a un absurdo partiendo de afirmaciones o conceptos aparentemente inocuos cuando éstos se dirigen sobre sí mismos. Una forma equivalente de A es:

A: La siguiente afirmación es verdadera. Al
La afirmación precedente es falsa. A2

En esta forma, cada una de las oraciones Al y A2 está claramente expresada y libre de paradojas, pero cuando ambas se juntan en un bucle autorreférente parecen burlarse de la lógica.

En su notable libro, Hofstadter señala como estos conceptos "localmente" razonables que se vuelven sobre sí mismos de forma paradójica cuando se consideran "globalmente" han recibido una efectista representación artística en el trabajo del artista holandés M.C. Escher. Considérese por ejemplo su Cascada. Si seguimos el curso del agua a lo largo del bucle, todo es en cada punto perfectamente normal y natural hasta que, súbitamente, nos encontramos otra vez en el punto de partida. El recorrido entero, considerado como un todo, es manifiestamente una imposibilidad aunque no haya nada "incorrecto" en ninguna de sus partes: es el aspecto global u holístico que es paradójico. Hofstadter también encuentra un equivalente musical de estos "círculos viciosos" en las fugas de Bach.

Los matemáticos y filósofos preocupados por los fundamentos lógicos de las matemáticas han realizado profundas investigaciones sobre la autorreferencia. Quizá, el más conocido logro en esta línea de investigación es un resultado obtenido por el matemático alemán

Kurt Gódel en 1931. Se trata del llamado teorema de Incompletitud, que constituye el tema central del libro de Hofstadter. El teorema de Gódel surge de un intento por parte de los matemáticos de sistematizar el proceso del razonamiento a fin de clarificar las bases lógicas que sustentan el edificio de las matemáticas. La paradoja de Russell, por ejemplo, surgió de los esfuerzos por organizar los conceptos de la manera más general y menos comprometida posible, identificándolos con "conjuntos". Los resultados fueron desastrosos.

Gódel dio con la idea de usar objetos matemáticos para representar oraciones en clave. En sí mismo, esto no es nada nuevo ni sensacional. La característica innovadora de Gódel fue usar las matemáticas para codificar afirmaciones sobre las matemáticas (otra vez encontramos el aspecto autorreferente). Obtuvo algo semejante a la paradoja de Epiménides, pero en forma de una afirmación sobre las matemáticas; de hecho, Gódel demostró en su teorema que hay siempre afirmaciones sobre los números enteros de las que nunca, ni siquiera en principio, se puede demostrar que sean verdaderas o falsas (como A anteriormente) sobre la base de un conjunto fijado de axiomas. Los axiomas son las cosas que se dan por verdaderas sin necesidad de ser demostradas (por ejemplo 1 = 1). Así, incluso un sistema matemático tan relativamente sencillo como la teoría de números posee propiedades que no pueden ser demostradas (o refutadas) sobre la base de un conjunto fijado de hipótesis, no importa cuan complicadas y complejas sean.

La importancia del teorema de la Incompletitud de Gódel es que, mezclando el sujeto y el objeto, demuestra como ya en el nivel fundamental del análisis lógico la autorreferencia puede producir tanto paradojas como indecisiones. Esto parece indicar que nunca, ni siquiera en principio, podrá llegar a entenderse por completo nuestra mente. Según Hofstadter, el teorema de Incompletitud de Gódel tiene el sabor de un viejo cuento de hadas que nos advierte que buscar el autoconocimiento es embarcarnos en un viaje sin fin.

El teorema de Gódel ha sido usado también como argumento en favor de la naturaleza no mecánica de la mente. En un ensayo titulado «Mentes, máquinas y Gódel», Lucas asevera que la inteligencia humana nunca será alcanzada por los computadores: «Me parece que el teorema de Gódel demuestra que el mecanismo es falso, es decir, que las mentes no pueden ser explicadas como máquinas.» La esencia de su argumento es que nosotros, como seres humanos, podemos descubrir verdades matemáticas sobre los números que un computador programado para trabajar con un conjunto prefijado de axiomas, y por tanto sujeto al teorema de Gódel, no puede demostrar por sí solo.

Por muy complicada que sea la máquina que construyamos... siempre podemos confiar en el procedimiento de Gódel para hallar una fórmula indemostrable en su sistema. Una fórmula que la máquina no sea capaz de demostrar aunque una persona inteligente pueda ver que es verdadera. Por tanto, la máquina no será un modelo adecuado de la mente. No hay duda de que muchos se sentirán incómodos ante el intento de basar la superioridad de la mente en propiedades esotéricas, cuando normalmente se supone que son cualidades como el amor, la belleza, el humor y otras cosas semejantes, como los indicios de la existencia de una mente no mecánica o "alma". En cualquier caso, el argumento de Lucas ha sido atacado desde muy diversos frentes. Por ejemplo, Hofstadter señala que, en la práctica, la capacidad de la mente humana para descubrir verdades matemáticas complicadas es limitada, de manera que se podría programar un computador capaz de demostrar con éxito todas las cosas que una persona determinada pueda descubrir sobre los números. Además, es fácil convencerse de que nosotros somos tan vulnerables como los computadores ante la Incompletitud de Gódel a causa de las afirmaciones del tipo de Epiménides: es posible construir verdades lógicas que hablen de Smith y que nunca puedan llegar a ser demostradas por el propio Smith.

Como hemos visto, tanto la conciencia como la impresión de libre albedrío y el sentido de identidad personal contienen todos un elemento de autorreferencia y poseen aspectos paradójicos. Cuando una persona percibe algo, un objeto físico por ejemplo, el observador es, por definición, externo al objeto observado, aunque ligado al mismo a través de algún mecanismo sensorial. Pero durante la introspección, cuando el observador se observa a sí mismo, el objeto y el sujeto se confunden. Es como si el observador estuviera a la vez dentro y fuera de sí mismo.

Se pueden dar algunas representaciones intrigantes de esta curiosa topología mental. Considérese la famosa cinta de Móbius (ver fig. 10), por ejemplo. La cinta se construye doblando una sola vez una tira de papel u otro material y juntando luego sus extremos. En cada punto particular de la cinta parece haber dos caras: una interior y otra exterior. Pero si seguimos la cinta con el dedo veremos que no tiene más que una sola cara. Localmente parece haber una división en dos categorías (análogas al sujeto y al objeto), pero una mirada a la estructura global nos muestra que hay solamente una.

Otra sugestiva representación de la autorreferencia nos la ofrece Hofstadter en el lenguaje de sus círculos viciosos:

Creo que las explicaciones de los fenómenos "emergentes" de nuestros cerebros —las ideas, las esperanzas, las imágenes, las analogías y finalmente la conciencia y el libre albedrío— están basadas en una especie de círculo vicioso, una interacción entre niveles en la que el nivel superior actúa sobre el inferior al mismo tiempo que está determinado por él... el yo se manifiesta en el momento en que es capaz de reflejarse a sí mismo.

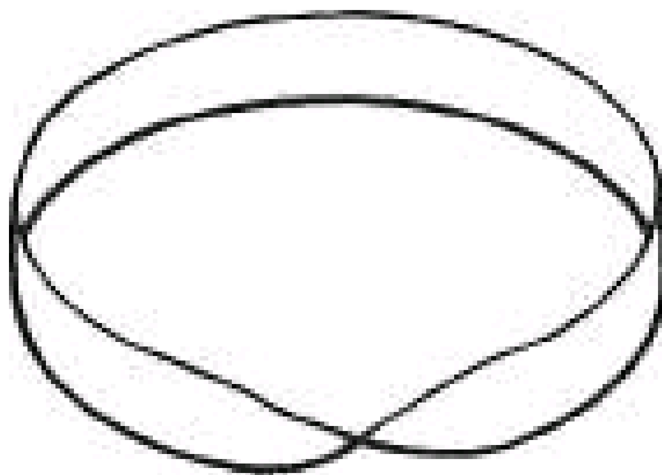


Fig. 10. La famosa cinta de Móbius se construye dando un solo giro a una tira de papel y juntando luego sus extremos. Si la examinamos detenidamente, veremos que la cinta tiene una sola cara y un solo borde.

La característica esencial de todos estos intentos de obtener una mejor comprensión del yo es la convolución de los niveles jerárquicos. El hardware de las células cerebrales y la maquinaria electroquímica sostienen el software de los pensamientos, ideas y decisiones; pero éstos, a su vez, actúan sobre el plano neurológico y, de este modo, modifican y sustentan su propia existencia. El intento de separar el cerebro y la mente, el cuerpo y el alma, "planos entrelazados" en palabras de Hofstadter, es una empresa sin ningún sentido. Es precisamente esta confusión de planos lo que hace que cada cual sea uno mismo.

La moderna doctrina cristiana apoya de modo notable esta concepción integrada del cerebro y la mente al hacer hincapié en la resurrección del hombre total a través de Cristo y no en la idea tradicional de un alma inmortal que, arrancada de su soporte material, lleva una existencia independiente fuera del cuerpo.

Sin embargo, nada se ha dicho de si la mente está o no restringida a los seres humanos. No parece que haya datos científicos en favor de que el hombre posea alguna cualidad divina, ni existe ninguna razón para creer que un avanzado computador

electrónico será siempre incapaz de sentir o ser consciente como nosotros. Esto no quiere decir, desde luego, que los computadores tengan alma, sino más bien que la compleja maraña de planos entrelazados que dan lugar a lo que entendemos como mente puede surgir en una variedad de sistemas.

Sin embargo, todavía queda un aspecto del yo que no parece encajar en una descripción determinista; se trata de la voluntad. Todos los seres humanos creen que son capaces de elegir, aunque de manera limitada, entre diversas posibilidades de acción. ¿Es posible que esta libertad aparente para iniciar acciones pueda llegar a ser programada en un computador?

Hofstadter sostiene que en principio es posible. Habla de nuestro sentimiento de libre albedrío como de un delicado equilibrio entre el autoconocimiento y la autoignorancia. Incorporando un grado apropiado de autorreferencia en un programa de computador, Hofstadter sostiene que también empezaría a comportarse como si tuviera voluntad propia. Intenta ligar la voluntad con la incompletitud de Gódel que surge inevitablemente en cualquier sistema capaz de controlar su propia actividad interna. (El tema del determinismo y el libre albedrío será estudiado con mayor profundidad en el capítulo 10.)

Supongamos que estuviéramos persuadidos, gracias a estos argumentos, de que los cerebros humanos son máquinas electroquímicas maravillosamente complejas y que otros tipos de mecanismos artificiales, como los computadores, pueden ser programados para experimentar emociones humanas y el libre albedrío. ¿Devalúa esto la mente humana? Afirmar que el cerebro es una máquina no niega la realidad de la mente y las emociones, que se refieren a un plano superior de descripción (la colonia de hormigas, el argumento de la novela, la fotografía del rompecabezas, la sinfonía de Beethoven). Decir que el cerebro es una máquina no implica necesariamente que la mente no sea más

que el producto de procesos mecanicistas. Decir que la naturaleza determinista de la actividad cerebral convierte el libre albedrío en una ilusión es tan erróneo como decir que la vida es una ilusión debido a la naturaleza inanimada de los procesos atómicos.

Algunos escritores de ciencia ficción han especulado sobre la existencia de máquinas inteligentes, especialmente Isaac Asimov en sus historias de robots y Arthur C. Clarke en la novela 2001: Una odisea en el espacio. Otros autores, en un intento de clarificar el concepto del yo, han especulado sobre imaginarios trasplantes de mentes.

Considérese, por ejemplo, lo que sucedería si nuestro cerebro te dan lugar a lo que entendemos como mente puede surgir en una variedad de sistemas.

Sin embargo, todavía queda un aspecto del yo que no parece encajar en una descripción determinista; se trata de la voluntad. Todos los seres humanos creen que son capaces de elegir, aunque de manera limitada, entre diversas posibilidades de acción. ¿Es posible que esta libertad aparente para iniciar acciones pueda llegar a ser programada en un computador?

Hofstadter sostiene que en principio es posible. Habla de nuestro sentimiento de libre albedrío como de un delicado equilibrio entre el autoconocimiento y la autoignorancia. Incorporando un grado apropiado de autorreferencia en un programa de computador, Hofstadter sostiene que también empezaría a comportarse como si tuviera voluntad propia. Intenta ligar la voluntad con la incompletitud de Gódel que surge inevitablemente en cualquier sistema capaz de controlar su propia actividad interna. (El tema del determinismo y el libre albedrío será estudiado con mayor profundidad en el capítulo 10.)

Supongamos que estuviéramos persuadidos, gracias a estos argumentos, de que los cerebros humanos son máquinas electroquímicas maravillosamente complejas y que otros tipos de

mecanismos artificiales, como los computadores, pueden ser programados para experimentar emociones humanas y el libre albedrío. ¿Devalúa esto la mente humana? Afirmar que el cerebro es una máquina no niega la realidad de la mente y las emociones, que se refieren a un plano superior de descripción (la colonia de hormigas, el argumento de la novela, la fotografía del rompecabezas, la sinfonía de Beethoven). Decir que el cerebro es una máquina no implica necesariamente que la mente no sea más que el producto de procesos mecanicistas. Decir que la naturaleza determinista de la actividad cerebral convierte el libre albedrío en una ilusión es tan erróneo como decir que la vida es una ilusión debido a la naturaleza inanimada de los procesos atómicos.

Algunos escritores de ciencia ficción han especulado sobre la existencia de máquinas inteligentes, especialmente Isaac Asimov en sus historias de robots y Arthur C. Clarke en la novela 2001: Una odisea en el espacio. Otros autores, en un intento de clarificar el concepto del yo, han especulado sobre imaginarios trasplantes de mentes.

Considérese, por ejemplo, lo que sucedería si nuestro cerebro nos fuera extraído y trasladado a un "sistema de mantenimiento de cerebros", permaneciendo conectado a nuestro cuerpo a través de alguna especie de red de radiocomunicación. (Desde luego, tal procedimiento va mucho más allá de la tecnología previsible, aunque no existe ninguna razón lógica por la que no pueda llegar a conseguirse.) Nuestros ojos, oídos y otros sentidos permanecerían como siempre en funcionamiento y nuestro cuerpo podría operar sin ningún impedimento. De hecho, nada parecería diferente (¡quizá una sensación de ligereza en la cabeza!), excepto que podríamos mirar nuestro propio cerebro. La cuestión es: ¿dónde estaríamos? Si nuestro cuerpo emprendiera un viaje en tren, nuestras experiencias serían las del viaje, exactamente las mismas que si nuestro cerebro

estuviera en su sitio. Ciertamente sentiríamos como si estuviéramos en el tren.

La confusión aumenta si imaginamos que nuestro cerebro es trasplantado a otro cuerpo. ¿Habrá que decir que nosotros tenemos un nuevo cuerpo o que él tiene un nuevo cerebro? ¿Somos la misma persona con un cuerpo distinto? Quizás. Pero supongamos que el cuerpo es del sexo opuesto o de algún animal. Gran parte de lo que configura nuestra personalidad y nuestras capacidades está vinculado a las condiciones físicas y químicas del cuerpo. ¿Qué ocurriría si se nos borrara completamente la memoria durante el trasplante? ¿Tiene algún sentido considerar al nuevo individuo como nosotros mismos?

Cuando se especula sobre la duplicidad del yo surgen problemas apasionantes. Supongamos que toda la información de nuestro cerebro se introduce en un computador gigante y que nuestro cuerpo y nuestro cerebro mueren. ¿Sobrevivimos en el computador?

La idea de introducir mentes en los computadores hace entrever la posibilidad de disponer de múltiples réplicas de uno mismo en distintos computadores. Desde luego, se ha escrito mucho sobre la "multiplicidad de personalidades" y el desdoblamiento de la personalidad en casos de pacientes a quienes se han interrumpido las conexiones entre los dos hemisferios cerebrales y que se han encontrado en estados mentales donde, por así decir, la mano izquierda literalmente no sabe lo que está haciendo la derecha.

A pesar de que algunas de estas ideas parezcan espantosas, nos ofrecen la esperanza de comprender científicamente la inmortalidad, puesto que insisten en que el ingrediente esencial de la mente es la información. Es la estructura que hay en el cerebro y no el cerebro mismo lo que nos convierte en lo que somos. Del mismo modo que la Quinta Sinfonía de Beethoven no deja de existir cuando la orquesta ha acabado de interpretarla, la mente puede

perdurar transmitiendo la información a otra parte. Hemos considerado que, en principio, la mente podría ser introducida en un computador; pero si la mente es básicamente información organizada, el medio de expresión de esta información puede ser cualquier cosa; no debe ser un cerebro particular y tampoco necesariamente un cerebro. Más que "fantasmas en las máquinas" somos "mensajes en un circuito", y el mensaje mismo trasciende el medio de su expresión.

MacKay expresa este punto de vista en términos informáticos:

Si un computador que estuviera procesando un programa determinado fuera alcanzado por un obús y fuera destruido por el impacto, podríamos ciertamente decir que aquello constituía el final de la realización del programa. Pero si quisiéramos volver a procesar el mismo programa, sería innecesario recuperar las piezas del computador original o reproducir el mecanismo original. Cualquier medio activo (incluso operaciones con lápiz y papel) que expresaran la misma estructura y secuencia de relaciones podrían en principio encarnar el mismo programa.

Esta conclusión deja abierta la cuestión de si el "programa" se vuelve a ejecutar en cualquier otro cuerpo en una fecha posterior (reencarnación) o en un sistema que no percibimos como parte del universo físico (¿el cielo?), o si simplemente se almacena en algún sentido (¿el limbo?). En lo que atañe a la percepción del tiempo, veremos que es solamente durante la ejecución del programa (como ocurre en la interpretación de una sinfonía) cuando se puede dar algún sentido al flujo del tiempo. La existencia de un programa, como el de una sinfonía, una vez creado es esencialmente atemporal.

En este capítulo se ha argumentado que la investigación en las ciencias cognoscitivas tiende a resaltar las semejanzas entre el hombre y la máquina en lo que se refiere a la mente, con las

implicaciones que ello supone para la religión. Mientras por un lado estos estudios dejan poco espacio para la idea tradicional del alma, por otro lado dejan la puerta abierta a la supervivencia de la personalidad.

Las mentes, con toda su complejidad, no se estudian generalmente en el marco de la física, la cual, como hemos visto, se mueve mucho mejor en el nivel reduccionista de las simples cosas elementales. Sin embargo, hay un área importante de la física moderna donde la mente juega un papel fundamental. Se trata de la teoría cuántica, que nos introduce en un mundo fascinante que choca con los esquemas tradicionales de la religión.

VIII. EL FACTOR CUÁNTICO

«Quien no se sienta abrumado por la teoría cuántica es que no la ha entendido.»

NIELS BOHR

Los argumentos presentados en los dos capítulos anteriores parecen indicar que la mente, si bien no es una "cosa", en el sentido de un ente ubicado en un lugar y con cierta constitución, tiene, a pesar de todo, existencia real como un concepto abstracto de "alto nivel" en la jerarquía de estructuras de la naturaleza. La relación entre el cuerpo y la mente, el viejo enigma filosófico, es como la relación entre el hardware y el software en la informática. Sin embargo, la conexión es mucho más estrecha que en la programación ordinaria de computadores en cuanto el software está vinculado o interrelacionado con el hardware en lo que Hofstadter denomina una «maraña de jerarquías» o un «círculo vicioso». Este mosaico de autorreferencia constituye la característica esencial de la conciencia.

Esta conexión entre el hardware y el software, el cerebro y la mente, la materia y la información, no es nueva para la ciencia. En los años veinte se produjo una gran revolución en la física fundamental que conmocionó a la comunidad científica y llamó la atención sobre la relación entre el observador y el mundo exterior. Se trata de la mecánica cuántica. Constituye el puntal de lo que se ha dado en llamar la nueva física y proporciona una convincente evidencia científica en apoyo de que la conciencia juega un papel esencial en la naturaleza de la realidad física.

Considerando que la mecánica cuántica surgió hace ya unas décadas, es notable que sus sorprendentes ideas hayan tardado tanto tiempo en filtrarse hasta el no especialista. Se reconoce, sin embargo, cada vez más, que la teoría contiene algunas asombrosas ideas sobre la naturaleza de la mente y la realidad del mundo exterior y que debe tenerse muy en cuenta si queremos comprender a Dios y a la existencia. Algunos autores contemporáneos buscan paralelismos entre los conceptos de la teoría cuántica y los de las filosofías místicas orientales, como el Zen. El factor cuántico no puede ser ignorado, sean cuales sean las creencias religiosas.

Antes de empezar a discutir más a fondo estos temas, debe recordarse que la mecánica cuántica es ante todo una rama de la física aplicada y que como tal ha cosechado éxitos brillantes. Nos ha proporcionado el láser, el microscopio electrónico, el transistor, los superconductores y la energía nuclear. De un plumazo explicó el enlace químico, la estructura del átomo y del núcleo, la conducción de la electricidad, las propiedades térmicas y mecánicas de los sólidos, los mecanismos que tienen lugar en el interior de las estrellas y una gran variedad de otros fenómenos físicos importantes. La teoría ha penetrado en casi todas las áreas de la investigación científica (al menos en lo que se refiere a las ciencias físicas) y durante dos generaciones se ha venido estudiando en las facultades de ciencias como una asignatura más. En nuestros días se aplica rutinariamente en muchos campos de la ingeniería. En resumen, la mecánica cuántica es una teoría con muchas aplicaciones prácticas y ampliamente contrastada. Por un lado, gran cantidad de aparatos de uso corriente están basados en sus principios; por otro, gran número de delicados y precisos experimentos científicos la confirman.

El halo de misterio que rodea a la mecánica cuántica surgió casi inmediatamente después de su concepción, aunque muy pocos físicos profesionales se detienen a pensar en las extrañas implicaciones filosóficas de esta teoría que se ocupa del comportamiento de los átomos y sus constituyentes.

Los físicos saben desde hace mucho tiempo que ciertos procesos como la radiactividad son aleatorios e imprevisibles. Si bien los grandes grupos de átomos radiactivos obedecen a las leyes de la estadística, no se puede predecir el instante exacto de la desintegración de un núcleo atómico individual. Esta incertidumbre fundamental se extiende a todos los fenómenos atómicos y subatómicos y su explicación exige una revisión radical de las creencias habituales. Antes de que, en los primeros años de este

siglo, se descubriera la incertidumbre atómica, se daba por supuesto que todos los objetos materiales cumplían estrictamente las leyes de la mecánica clásica, las mismas que se ocupan de mantener a los planetas en sus órbitas o de dirigir un proyectil hacia el blanco. El átomo se consideraba como una versión a escala reducida del sistema solar, con sus componentes internos girando como un mecanismo de relojería. Todo esto resultó ser una ilusión. En los años veinte se descubrió que el mundo atómico está lleno de oscuridad y caos. Una partícula como el electrón no parece seguir en absoluto ninguna trayectoria bien definida. No se pueden precisar las trayectorias de los electrones ni de las partículas subatómicas conocidas (ni siquiera de los átomos enteros). Si se observa en detalle la materia que encontramos en nuestra experiencia cotidiana, vemos que se diluye en un torbellino de imágenes fugaces y fantasmales.

La incertidumbre es el principal ingrediente de la teoría cuántica y conduce directamente a la imprevisibilidad. ¿Tiene cada suceso una causa? Pocos científicos o pensadores lo negarían. En el capítulo 3 vimos cómo se ha apelado a la cadena causa-efecto en argumentos en favor de la existencia de Dios (la causa primera de todas las cosas). El factor cuántico, no obstante, parece romper esta cadena causal permitiendo la ocurrencia de sucesos sin ninguna causa aparente.

Ya en los años veinte surgió una apasionada controversia sobre el significado que debía darse a esta actitud imprevisible de los átomos. ¿Es la naturaleza inherentemente caprichosa, permitiendo que los electrones y otras partículas aparezcan al azar, sin ninguna causa ni razón? O, por el contrario, ¿se comportan estas partículas como pedazos de corcho sacudidos por un océano invisible de fuerzas microscópicas?

La mayoría de científicos, bajo el liderazgo del físico danés Niels Bohr, aceptaron el hecho de que la incertidumbre atómica es

algo verdaderamente intrínseco a la naturaleza: las reglas de un mecanismo de relojería son aplicables a objetos familiares como las bolas de billar; pero cuando se trata de átomos, las reglas son las del juego de la ruleta. Una voz disidente aunque distinguida fue la de Albert Einstein. «Dios no juega a los dados», dijo. Muchos sistemas ordinarios, como la bolsa de valores o el tiempo atmosférico, son asimismo imprevisibles. Pero ello es debido únicamente a nuestra ignorancia. Si tuviéramos un conocimiento completo de todas las fuerzas en juego, podríamos (al menos en principio) anticipar cada lance y cada cambio.

El histórico debate entre Bohr y Einstein no es simplemente una cuestión de detalle, sino que atañe a la misma estructura conceptual de una de las teorías que cuenta con más éxitos dentro de la ciencia. En el fondo, lo que se está cuestionando es si un átomo es una cosa o es simplemente una construcción abstracta que nos es útil para explicar una amplia gama de observaciones. Si el átomo existe realmente como un ente independiente, entonces, como mínimo, debe tener una posición y una velocidad determinadas. Pero esto lo rechaza la mecánica cuántica: se puede tener una cosa o bien otra, pero no ambas a la vez.

Esto constituye el célebre principio de incertidumbre de Heisenberg, uno de los padres de la teoría. Dice que no se puede saber dónde está localizado un electrón u otra partícula y al mismo tiempo saber cómo se está moviendo. No solamente no se puede saber, sino que el mismo concepto de un átomo con posición y velocidad determinadas carece de sentido. Podemos preguntamos dónde está un átomo y obtener una respuesta precisa. Podemos preguntamos cómo se está moviendo y obtener también una respuesta. Sin embargo, no hay respuesta para la pregunta: "¿dónde está y cómo se mueve?". Para una partícula microscópica, la posición y la velocidad (o más precisamente, el momento) constituyen dos aspectos mutuamente excluyentes de la realidad.

Sin embargo, ¿qué derecho tenemos a afirmar que un átomo es una cosa, si no está localizado en ninguna parte ni tampoco tiene una velocidad definida?

Según Bohr, el borroso y nebuloso mundo del átomo sólo se proyecta en la realidad concreta cuando se hace una observación. En ausencia de toda observación, el átomo es un fantasma. Sólo se materializa cuando se le busca, y hay que decidir lo que se quiere buscar. Se puede determinar su posición o su velocidad, pero no ambas cosas a la vez. La realidad que se manifiesta a través de la observación no se puede separar del observador ni de su elección al plantear las condiciones en que se efectúa la medición.

Einstein diría probablemente que todo esto es demasiado fantástico y paradójico. Según Einstein, existe una realidad independiente del observador. Cada suceso ocurre por sus propias razones y no por el hecho de ser observado. Nuestras observaciones pueden desvelar la realidad atómica, pero ¿cómo podrían crearla? Es cierto que los átomos y sus componentes parecen comportarse de una manera confusa e imprecisa, pero esto es debido únicamente a nuestra torpeza para observar objetos tan delicados.

Esta dicotomía esencial se puede ilustrar con la ayuda de la humilde televisión. La imagen en la pantalla del televisor está producida por innumerables pulsos de luz que se emiten cuando los electrones disparados desde la parte posterior del aparato bombardean la pantalla fluorescente. La imagen que se percibe está razonablemente definida debido a que el número de electrones en juego es enorme y, en promedio, el efecto acumulativo de muchos electrones tratados estadística mente se puede predecir. Sin embargo, es imposible saber en qué punto de la pantalla incidirá un electrón particular. La llegada de este electrón a un lugar y la imagen que produce son inciertas. De acuerdo con la filosofía de Bohr, las balas procedentes de un cañón ordinario siguen un camino preciso hacia el blanco; pero los electrones disparados por un cañón

de electrones simplemente aparecen en el blanco. Además, por muy buena puntería que se tenga, no se puede garantizar una diana perfecta. El suceso "un electrón en el lugar X de la pantalla de televisión" no puede considerarse causado por el cañón o por ninguna otra cosa, puesto que no conocemos ninguna razón por la que el electrón tenga que ir al punto X y no a otra parte. Un fragmento de imagen no es más que un suceso sin ninguna causa, una afirmación asombrosa que vale la pena recordar la próxima vez que veamos nuestro programa favorito de televisión.

No decimos, desde luego, que el cañón no tenga nada que ver con la llegada de los electrones, sino que no la determina completamente. En lugar de concebir al electrón en el blanco como algo que existía ya antes de su llegada y que al salir del cañón siguió una trayectoria determinada, para los físicos el electrón que abandona el cañón se encuentra en una especie de limbo donde su presencia está representada por una legión de fantasmas. Cada fantasma explora su propio camino hacia la pantalla, aunque sólo un electrón aparecerá en ella.

¿Cómo se pueden confirmar estas extravagantes ideas?

En los años treinta, Einstein concibió un experimento mediante el que pensaba poner al descubierto el engaño de los fantasmas cuánticos y establecer de una vez por todas que cada suceso tiene una causa bien determinada. El experimento estaba basado en el principio de que la multitud de fantasmas no actúan independientemente sino en colectividad. Supóngase, dijo Einstein, que una partícula se rompe en dos fragmentos y que se les permite viajar sin perturbarlos hasta que los separe una gran distancia. Por muy separados que estén, cada fragmento estará influido por su compañero. Por ejemplo, si uno se separa girando en el sentido de las agujas del reloj, el otro, por reacción, girará en sentido contrario.

La teoría cuántica postula que cada fragmento viene representado por más de una posibilidad potencial. Así, el

fragmento A consta de dos fantasmas que giran en sentidos opuestos. Para saber cuál de los dos fantasmas se convierte en la partícula real hay que esperar a efectuar una observación o una medición determinada. De manera semejante, el compañero que se aleja en la otra dirección, el fragmento B, está representado también por dos fantasmas que giran en sentidos opuestos. Sin embargo, si una medición de A da realidad al fantasma que gira en el sentido de las agujas del reloj, el B no tiene elección: debe promocionar al fantasma que gira en sentido contrario. Cada uno de los dos fantasmas corpusculares separados debe cooperar con el otro para satisfacer la ley de acción y reacción (ver figura 11).

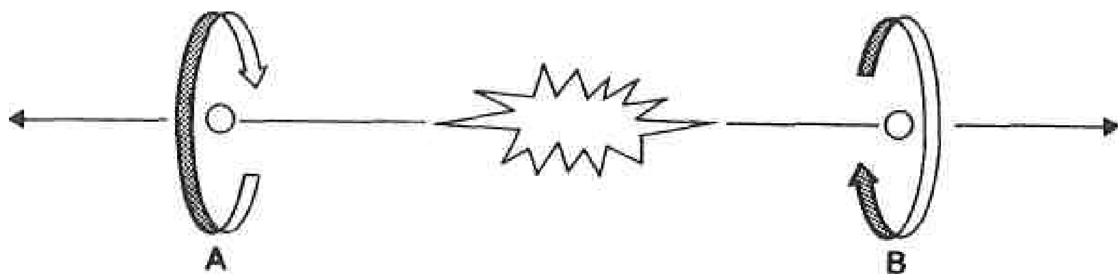


Fig. 11. La desintegración de un átomo o de una partícula subnuclear puede dar lugar a dos partículas (por ejemplo, fotones de luz) que giran en sentido contrario y viajan en direcciones opuestas, a veces para recorrer grandes distancias. (La figura muestra una partícula desintegrada que pudo dar a luz).

Parece desconcertante que el fragmento B pueda saber por cuál de sus fragmentos fantasmales ha optado A. Si los fragmentos están muy separados es difícil comprender cómo pueden comunicarse entre sí. Además, si se observan ambos fragmentos simultáneamente, no hay tiempo suficiente para que una señal pueda propagarse de uno a otro. Einstein insistió en que este resultado es paradójico a menos que los fragmentos existan realmente (que estén ya girando en un sentido particular) en el

instante en que se separan y que retengan su giro mientras se desplazan en sentidos opuestos. No hay fantasmas; no hay demora en la elección de giro hasta que se efectúa la medición ni hay ninguna cooperación misteriosa sin comunicación.

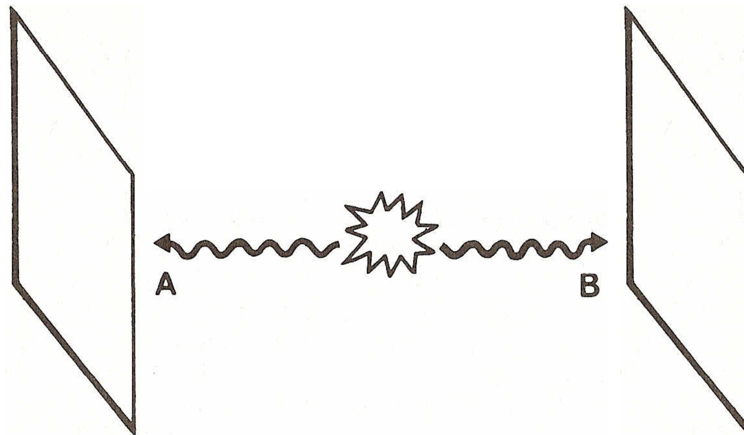


Fig. 12. Si dos fotones con sentido de giro y polarización correlacionados se encuentran con dos polarizadores paralelos, cooperarán completamente: Si el fotón A queda bloqueado, lo mismo ocurre con el fotón B. Tal cooperación tiene lugar aunque a) el resultado concreto del encuentro entre fotón y polarizador es totalmente imprevisible y b) los fotones estén muy alejados uno de otro.

Bohr replicó que el razonamiento de Einstein daba por supuesto que los dos fragmentos eran independientemente reales por el hecho de estar muy separados. De hecho, afirmó Bohr, no es posible admitir que el mundo esté constituido de grandes cantidades de pedazos separados. Hasta que se realiza una medida, tanto A como B constituyen una sola totalidad, aun en el caso de que se encuentren a años luz de distancia. ¡Se trata, por supuesto, de un punto de vista holístico!

Sin embargo, la refutación real del desafío de Einstein tuvo que esperar hasta los avances tecnológicos posteriores a la Segunda Guerra Mundial. En los años 60, el físico John Bell demostró un notable teorema conocido como la desigualdad de Bell, basado en

experimentos análogos al de Einstein. Demostró, de manera bastante general, que el grado de cooperación entre sistemas separados no puede sobrepasar un cierto máximo si, de acuerdo con Einstein, se da por supuesto que los fragmentos existen realmente en estados bien definidos con anterioridad a la observación. En contraste, la teoría cuántica predice que este máximo se puede sobrepasar. La controversia se esclareció gracias a un experimento.

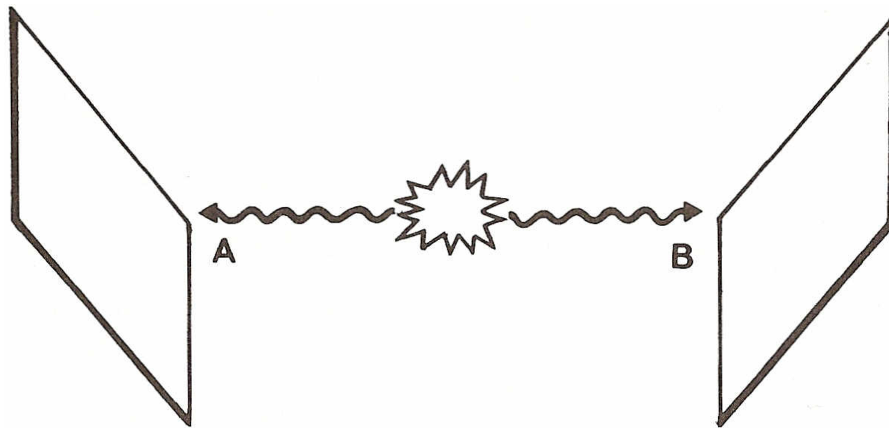


Fig. 13. Contrastación de la desigualdad de 8ell: Si los polarizadores se orientan oblicuamente, la cooperación entre A y 8 se reduce; a veces A pasa y 8 queda bloqueado. Sin embargo, algo de cooperación queda. En particular, hay más cooperación de la que puede explicar una teoría que a) acepte la realidad independiente del mundo externo y b) niegue la existencia de comunicación hacia el pasado entre los distantes fotones.

Los avances tecnológicos permitieron realizar verificaciones experimentales de la desigualdad de Bell. Se han realizado varios de estos experimentos, pero, con mucho, el más importante fue llevado a cabo en 1982 en la Universidad de París por Alaine Aspect y sus colegas. Como fragmentos subatómicos utilizaron dos fotones de luz emitidos simultáneamente por un átomo. En el camino de cada fotón dispusieron un polarizador orientado de la misma forma. Los filtros polarizad ores sólo dejan pasar aquellos fotones cuyos vectores electromagnéticos vibran en un cierto plano que es

característico del material. Así, sólo los fotones fantasma cuya orientación (polarización) es la adecuada emergen al otro lado del material polarizador. De nuevo, los fotones A y B deben cooperar, ya que sus polarizaciones están forzadas a ser paralelas a causa de la acción y la reacción. Si el fotón A es bloqueado, también debe serio el B.

La verdadera prueba tiene lugar cuando los dos trozos de material polarizador se orientan oblicuamente uno respecto al otro. La cooperación entonces se reduce debido a que el plano de polarización de los fotones no puede estar alineado a la vez con el de ambos polarizadores. Aquí es donde se puede esclarecer la controversia Bohr-Einstein. La teoría de Einstein predice una cooperación considerablemente menor que la de Bohr.

¿Cuál fue el resultado?

Bohr ganó y Einstein perdió. El experimento de París, juntamente con otros experimentos menos precisos llevados a cabo durante los años 70, no deja lugar a dudas sobre la incertidumbre intrínseca en el microcosmos. Basándonos en la evidencia experimental, es necesario aceptar sucesos sin causa, imágenes fantasmales y realidad activada solamente mediante la observación.

Vamos a ver cuáles son las implicaciones de esta asombrosa confusión.

En tanto en cuanto la rebelión de la naturaleza esté restringida al microcosmos, a la mayoría de la gente no le preocupará demasiado si se disuelve la realidad concreta del mundo exterior. Después de todo, en la vida diaria, una silla continúa siendo una silla. O... ¿no es así?

No del todo.

Las sillas están hechas de átomos. ¿Cómo pueden combinarse multitudes de fantasmas para formar algo sólido real? Y, ¿qué se puede decir del propio observador? ¿Cuál es la característica tan especial del ser humano que le confiere el poder de concentrar unos

átomos nebulosos en una nítida realidad? ¿Tiene que ser humano el observador, o puede ser también un gato o un computador?

La mecánica cuántica es una de las disciplinas más técnicas y difíciles de entender. Este breve resumen no se propone más que levantar una pequeña esquina del velo de misterio que la cubre para proporcionar al lector una visión general de los extraños conceptos que maneja (el tema se trata con mucho mayor detalle en mi libro Otros Mundos). Sin embargo, esta visión esquemática demostrará que la idea común de un mundo en términos de objetos que existen "realmente" con independencia de nuestras observaciones, se desmorona completamente a causa del factor cuántico.

Muchas de las desconcertantes características de la teoría cuántica se pueden entender en términos de una curiosa dualidad "onda-partícula", que recuerda la dualidad mente-cuerpo. De acuerdo con esta idea, un ente microscópico como el electrón o el fotón se comporta a veces como una partícula y otras veces como una onda; depende del tipo de experimento escogido. Una partícula es algo totalmente distinto de una onda: es un pequeño trozo de materia concentrada, mientras que una onda es una perturbación amorfa que puede extenderse y disiparse. ¿Cómo es posible que algo pueda ser ambas cosas?

La respuesta está otra vez relacionada con la complementariedad. ¿Cómo puede ser la mente a la vez pensamientos e impulsos neuronales? ¿Cómo puede ser una novela a la vez una historia y una colección de palabras? La dualidad onda-partícula es otra dicotomía del tipo hardware-software. El aspecto corpuscular es el hardware de los átomos. El aspecto ondulatorio corresponde al software, o mente, o información, puesto que la onda cuántica no es como ninguna otra onda conocida. No se trata de una onda compuesta de ninguna sustancia o material físico, sino de una onda de conocimiento o información. Es una onda que nos dice lo que podemos saber acerca del átomo y no una onda del átomo

mismo. No pretendo decir que un átomo se extienda como una ondulación, sino que lo que se extiende es lo que un observador puede saber acerca del átomo. Todos estamos familiarizados con las olas de crimen. No se trata de ondas de ninguna sustancia, sino de ondas de probabilidad. Donde la ola de crimen es más intensa existe mayor probabilidad de que se cometa un delito

La onda cuántica es también una onda de probabilidad. Nos dice dónde podemos esperar encontrar a una partícula y cuáles son las posibilidades de que la misma tenga una u otra propiedad, como rotación o energía. Esta onda, por tanto, es la expresión matemática de la inherente incertidumbre e imprevisibilidad del factor cuántico.

Nada ilustra mejor el conflicto y la dicotomía de la dualidad onda-partícula que el experimento de la doble rendija de Thomas Young. La luz, de acuerdo con la física clásica, es una onda (una onda electromagnética, una ondulación del campo electromagnético). Sin embargo, alrededor del año 1900 Max Planck demostró matemáticamente que las ondas luminosas se comportan en muchas ocasiones como partículas (que en la actualidad llamamos fotones). La luz, según Planck, se presenta en paquetes indivisibles o cuantos (del latín quantum). La idea fue refinada por Einstein, quien señaló que estos fotones corpusculares podían extraer los electrones de los átomos del mismo modo que se pueden hacer caer cocos de un cocotero arrojando piedras con buena puntería. Esto es, básicamente, el fundamento de la célula fotoeléctrica, hoy en día tan familiar.

El primer hecho inesperado se produce cuando se combinan dos haces luminosos. Si se superponen dos trenes de ondas se produce un efecto denominado interferencia. Imagínese que se dejan caer dos piedras a unos cuantos centímetros de distancia sobre la superficie en calma de las aguas de un estanque. En el lugar donde las perturbaciones se solapan se produce una compleja trama de ondulaciones. En algunas regiones, los dos movimientos

ondulatorios se juntan en fase y la perturbación se amplifica; en otros lugares las ondas se encuentran desfasadas y se anulan mutuamente. Para obtener el mismo efecto con la luz podemos iluminar una lámina opaca en la que se han hecho dos agujeros de modo que la imagen de los mismos se proyecte en una pantalla situada al otro lado de la lámina. Las ondas de luz que pasan a través de cada rendija se expanden y se solapan, creando un patrón de interferencia que se percibe rápidamente en una placa fotográfica. La imagen de los dos agujeros no consiste en dos manchas borrosas, sino que es un patrón sistemático de franjas claras y oscuras, indicando donde los dos trenes de onda han llegado en fase y desfasados, respectivamente (ver fig. 14).

Todo esto se sabía perfectamente en el siglo XIX. Sin embargo, se producían cosas extrañas cuando se tenía en cuenta el carácter corpuscular de la luz. Cada fotón incide sobre la placa fotográfica en un punto particular y produce una pequeña mancha. La imagen completa, como en el caso de la televisión, se construye, por tanto, a partir de millones de manchas que se producen a medida que los fotones bombardean la placa como una lluvia de proyectiles. El punto de llegada de cualquier fotón individual es decididamente imprevisible. Todo lo que sabemos es que existe una buena probabilidad de que incida sobre la placa en una determinada área brillante.

Sin embargo, esto no es todo. Supongamos que reducimos la iluminación de modo que solamente pase a través del sistema un fotón a la vez. Al cabo de un cierto tiempo, la acumulación de manchas seguirá produciendo el patrón de interferencia de franjas claras y oscuras. La paradoja es que cualquier fotón particular sólo puede pasar a través de uno de los dos agujeros. Sin embargo, el patrón de interferencia exige dos trenes de onda superpuestos, cada uno proviniendo de una de las rendijas. De hecho, se puede llevar a cabo el experimento con átomos, electrones u otras partículas

subatómicas en lugar de la luz. En todos los casos se obtiene un patrón de interferencia compuesto de manchas individuales, demostrando que los fotones, átomos, electrones, mesones, etc., manifiestan tanto aspectos ondulatorios como corpusculares.

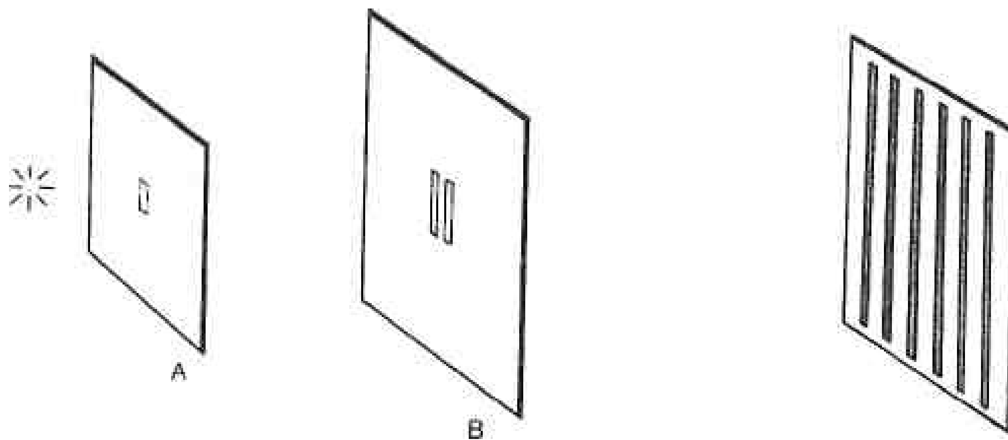


Fig. 14. El famoso experimento de la doble rendija de Young es ideal para poner de manifiesto la dualidad onda-partícula de la luz (también puede realizarse con electrones y otras partículas)... El agujero de la pantalla A ilumina las dos estrechas rendijas de la pantalla B (En la pantalla A aparece una rendija, pero deberían verse dos). La imagen de las rendijas se representa en la pantalla C. En vez de una doble franja de luz, vemos una sucesión de franjas claras y oscuras (franjas de interferencia), ya que las ondas luminosas de cada rendija llegan sucesivamente acompasadas y desacompasadas, según su posición. Aun en el caso de que un solo fotón a la vez atraviese el dispositivo, se produce el mismo esquema de interferencia, si bien cada uno de los fotones sólo puede pasar por una u otra rendija de la pantalla B y no hay fotones vecinos con los que comparar su "compás".

En los años veinte. Bohr sugirió una posible solución para esta paradoja. Piénsese en el caso en que el fotón pasa directamente a través de la rendija A como si se tratara de un mundo posible (mundo A) y la ruta a través de la rendija B de otro distinto (mundo B). Ambos mundos, A y B, están de algún modo presentes a la vez, superpuestos. Según Bohr, no podemos afirmar que el mundo de

nuestras experiencias represente o bien A o bien B, sino que es un híbrido genuino de los dos. Además, esta realidad híbrida no es simplemente la suma total de las dos alternativas, sino un matrimonio sutil. Cada mundo interfiere con el otro para producir el patrón de interferencia. Los dos mundos alternativos se solapan y combinan de un modo semejante a como lo harían dos películas que se proyectaran simultáneamente en la misma pantalla.

Einstein, el eterno escéptico, se negó a aceptar realidades híbridas. Desafió a Bohr con una versión modificada del experimento de la doble rendija en el cual se permitía a la pantalla moverse libremente. Una observación cuidadosa, en su opinión, permitiría determinar a través de qué rendija pasaba el fotón. El paso a través de la rendija de la izquierda resultaría en una ligera deflexión del fotón hacia la derecha y se podría observar en principio como la pantalla se movía hacia la izquierda. Un movimiento de la pantalla hacia la derecha indicaría que el fotón habría pasado a través de la otra rendija. De este modo se podría determinar experimentalmente que o bien el mundo A o bien el mundo B corresponde a la realidad. Además, la aparente indeterminación del comportamiento del fotón en 'el experimento original se podría atribuir simplemente a la tosquedad de la técnica experimental empleada en el experimento.

Bohr replicó de una manera decisiva. Einstein cambiaba las reglas del juego a mitad de la partida. Si se dejaba libertad a la pantalla para moverse, entonces su movimiento estaría también sujeto a la incertidumbre inherente a la física cuántica. Bohr demostró fácilmente que el efecto de retroceso destruiría el patrón de interferencia en la placa fotográfica produciendo simplemente en lugar del mismo dos manchas borrosas. O bien se inmoviliza la pantalla y se manifiesta la naturaleza ondulatoria de la luz gracias al patrón de interferencia o bien se deja a la pantalla en libertad y se establece una trayectoria definida para el fotón, desapareciendo en

este último caso el aspecto ondulatorio y comportándose la luz de un modo puramente corpuscular. Estamos considerando, por tanto, dos experimentos diferentes. No son contradictorios, sino complementarios. La estrategia de Einstein no nos dice nada del camino que sigue el fotón en el experimento original donde se manifiesta el mundo híbrido.

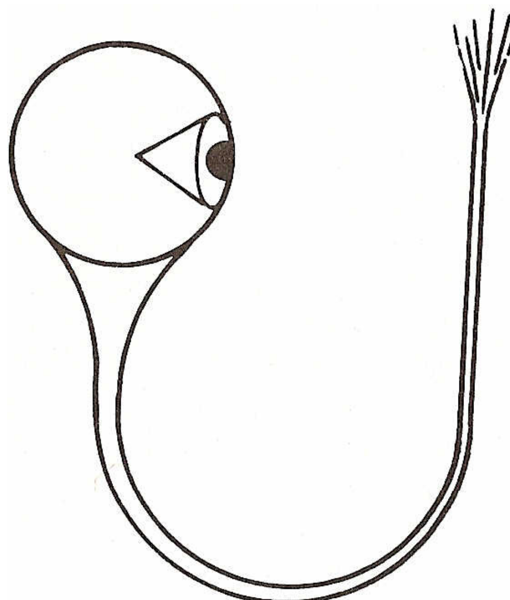


Fig. 15. Esta representación simbólica del Universo como un sistema que se observa a sí mismo es debida a John Wheeler. La impresionante modificación de Wheeler del experimento de la doble rendija de Young muestra que un observador actual puede ser responsable de algo ocurrido en el pasado remoto. La cola de la figura representa los primeros estadios del Universo, que adquieren realidad concreta gracias a las observaciones posteriores de seres conscientes cuya existencia depende de aquella realidad.

La insólita conclusión que se obtiene de toda esta polémica es que nosotros, los investigadores, estamos vinculados a la naturaleza de la realidad de un modo fundamental. Cuando decidimos sujetar la pantalla estamos construyendo un misterioso mundo híbrido en el que los caminos que sigue el fotón no están bien determinados.

En 1979, John Wheeler, hablando en Princeton en un simposio en conmemoración del centenario de Einstein, especuló con fina ironía sobre una consecuencia todavía más sorprendente del

experimento de la doble rendija. Señaló que mediante una ligera modificación del dispositivo es posible demorar la elección de la estrategia de medición hasta después de que el fotón haya pasado a través de la rendija. ¡Nuestra decisión de crear un mudo híbrido se puede posponer hasta después de que este mundo haya empezado a existir! Según Wheeler, la naturaleza precisa de la realidad debe esperar a la participación de un observador consciente. De esta manera, se puede responsabilizar a la mente de la creación retroactiva de la realidad (incluso de una realidad previa a la existencia de personas) . Esta es la causalidad retroactiva mencionada en las últimas páginas del capítulo 3.

Es, pues, evidente que la teoría cuántica nos exige renunciar a conceptos muy arraigados sobre la naturaleza de la realidad. Enturbiando la distinción entre sujeto y objeto, entre causa y efecto, introduce un fuerte elemento holístico en nuestra concepción del mundo. Hemos visto que en el experimento de Einstein dos partículas separadas por una gran distancia deben, sin embargo, contemplarse como un solo sistema. También hemos visto que no tiene ningún sentido hablar de la misma noción de átomo excepto en el contexto de un dispositivo experimental específico. Está prohibido preguntarse a la vez dónde está un átomo y cómo se mueve. Tenemos que decidir lo que queremos medir (posición o velocidad) y entonces podemos obtener una respuesta precisa. En la medición pueden intervenir gran cantidad de aparatos macroscópicos. Así, pues, la realidad microscópica es inseparable de la realidad macroscópica. Sin embargo, lo macroscópico está hecho de lo microscópico (¡los aparatos están hechos de átomos!). Nos movemos de nuevo en un círculo vicioso.

David Bohm, uno de los principales teóricos de la mecánica cuántica, trató estos temas en su libro Wholeness and the lmplicate Order:

Un cambio pertinente en el orden descriptivo impuesto por la teoría cuántica es, por tanto, el abandono de la noción de un análisis del mundo en términos de partes relativamente autónomas que existen separadamente aunque en interacción. Más bien el énfasis principal se pone ahora en la integridad indivisible, en la cual el instrumento de observación no se puede separar de lo que se observa.

En resumen, el mundo no es una colección de cosas separadas (aunque ligadas) sino una red de relaciones. Bohm se hace eco de las palabras de Werner Heisenberg: «La división común del mundo entre sujeto y objeto, mundo interno y mundo externo, cuerpo y alma, ha dejado de ser adecuada.»

¿Cómo se puede solucionar la paradoja circular implícita en el hecho de que el macrocosmos (el mundo de la experiencia cotidiana) determine la realidad microscópica de la cual a su vez está compuesto? Nos enfrentamos a esta paradoja cuando preguntamos lo que sucede realmente cuando se hace una medición cuántica. ¿Cómo se las ingenia el observador para proyectar el borroso microcosmos en un estado de realidad concreta?

El "problema de la medición" cuántica constituye en realidad una variante del problema mente-cuerpo o software-hardware; los físicos y los filósofos se han ocupado de él durante décadas. El hardware (la partícula) está descrito por una onda que codifica la información (software) sobre lo que un observador es capaz de saber acerca del comportamiento de la partícula cuando la observa. Al hacer una observación, la onda "se concentra" en un estado particular que adscribe un valor definido a lo que ha sido observado.

Las paradojas se presentan cuando el acto de medición se describe puramente en el plano del hardware. Un electrón dispersado por un blanco puede ir hacia la derecha o hacia la izquierda. Se hacen cálculos con la onda y se descubre hacia dónde

se dirige. A causa del blanco, la onda se divide y se expande parcialmente hacia la derecha y parcialmente hacia la izquierda con la misma intensidad. Esto quiere decir que en una observación dada hay la misma probabilidad de encontrar al electrón tanto a la izquierda como a la derecha. Es importante recordar, no obstante, que hasta que no se haya realizado la observación, no es posible decir (ni siquiera tiene ningún sentido discutido) en qué lado se encuentra el electrón realmente localizado. El electrón se reserva su opción hasta que nos decidimos a mirado. Ambos mundos posibles coexisten en una superposición híbrida y fantasmal (ver fig. 16).

Ahora bien, hacemos nuestra observación y encontramos el electrón, por ejemplo, en la izquierda. Instantáneamente el "fantasma" de la derecha desaparece. La onda "aparece" súbitamente en la parte izquierda del blanco, puesto que no existe ahora ninguna posibilidad de que el electrón se encuentre en la derecha. ¿Qué es lo que ocasiona esta sorprendente aparición?

A fin de realizar una observación, es necesario asociar el electrón con un aparato externo, quizá con una serie de aparatos. Éstos tienen la misión de olfatear dónde se encuentra el electrón y amplificar la señal para que pueda registrarse. Ahora bien, estas conexiones y procesos del dispositivo son en sí mismas actividades mecánicas que afectan a los átomos (aunque en grandes números) y están por tanto sujetos también al factor cuántico. Podríamos describir una onda que representase el aparato de medida. Supongamos que la máquina utilizada para la medición está equipada con un indicador que puede adoptar dos posiciones, una para señalar que el electrón está en la derecha y otra para señalar que está en la izquierda. Entonces, al contemplar el sistema total "electrón más dispositivo" como un gran sistema cuántico, llegamos a la conclusión de que la naturaleza híbrida del electrón se transfiere al indicador. En lugar de señalar una u otra posición, el aparato de medida se encontrará en un estado de limbo cuántico. De esta

forma, el acto de medir parece amplificar la pesadilla del mundo cuántico a la escala del laboratorio.

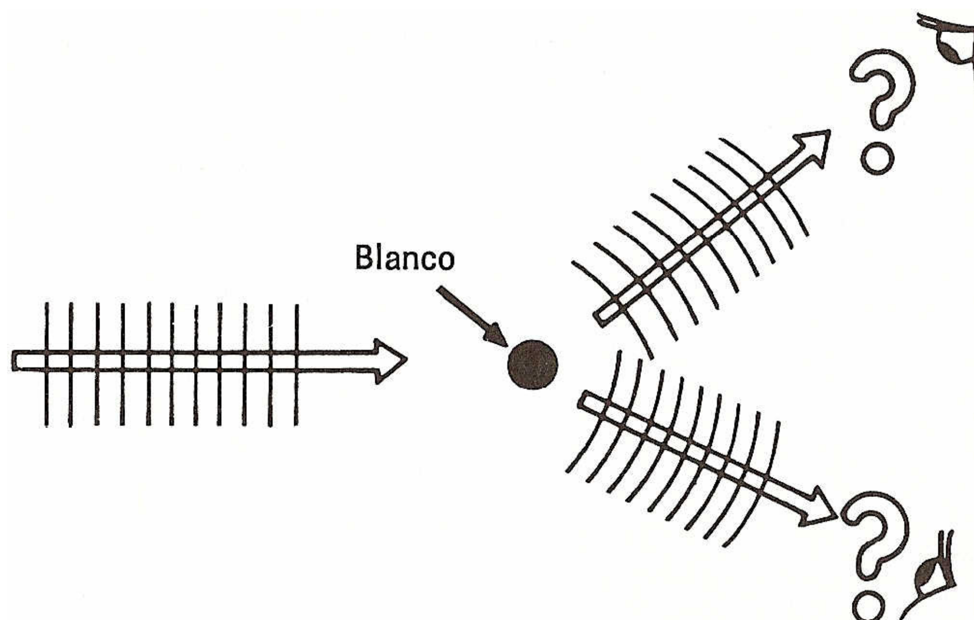


Fig. 16. Un electrón rebota en el blanco y produce ondas que van a la derecha y a la izquierda. Mientras no se haga una observación para determinar la dirección del electrón, debemos admitir que dos mundos fantasmales (o dos electrones fantasma) coexisten en un estado híbrido de irrealidad. En el momento de la observación, uno de los fantasmas se desvanece -su onda desaparece- y el electrón sale del limbo para adquirir una única realidad concreta. No se sabe en absoluto qué hace el observador al electrón para que éste sufra tan súbito cambio. ¿Es la acción de la mente sobre la materia? ¿Se escinde el Universo en dos realidades paralelas?

Esta paradoja fue investigada por el matemático John von Neumann, quien demostró (usando un modelo matemático sencillo) que el efecto de asociar el electrón al aparato de medida estimula al primero a optar por la derecha o la izquierda, aunque al precio de transferir la irrealidad híbrida al indicador del aparato. Von Neumann demostró también que si el aparato se conecta a su vez a otro instrumento que lea los registros del primero, entonces el primer indicador se verá forzado también a tomar una decisión. De

este modo, el segundo aparato también entra en el limbo. Así puede ensamblarse una cadena entera de máquinas tales que cada una de ellas observe a la anterior y registre precisos resultados de "izquierda-derecha", aunque el último elemento de la cadena de von Neumann siempre permanecerá en un estado de irrealidad.

La famosa paradoja del gato de Schrödinger destaca las consecuencias singulares de lo que se acaba de mencionar, en cuanto se usa un dispositivo amplificador para accionar la liberación de un veneno capaz de matar un gato. La dicotomía entre indicador a izquierda o a la derecha se convierte entonces en una dicotomía entre gato vivo o gato muerto. Si describimos un gato como un sistema cuántico, estamos forzados a concluir que hasta que el gato sea observado por alguien o por algo se encuentra suspendido en una condición esquizofrénica de vida-muerte latente que parece absurda.

Supongamos que utilizamos una persona en lugar de un gato. ¿Experimentará también un estado de vida-muerte? Por supuesto que no. ¿Falla la mecánica cuántica cuando se llega a los observadores humanos? ¿Se termina la cadena de von Neumann cuando se llega a la conciencia de una persona? Esta afirmación sensacional ha sido hecha efectivamente por uno de los más notorios físicos cuánticos, Eugene Wigner. Wigner sugiere que lo que hace concre- tar la onda cuántica y convierte abruptamente un estado fantasmal, esquizofrénico e híbrido en un nítido y definido estado de realidad concreta es la entrada de información sobre el sistema cuántico en la mente del observador. Así, cuando el propio experimentador observa el indicador del aparato, le obliga a tomar una u otra posición y por tanto, siguiendo la cadena, también obliga al electrón a decidirse.

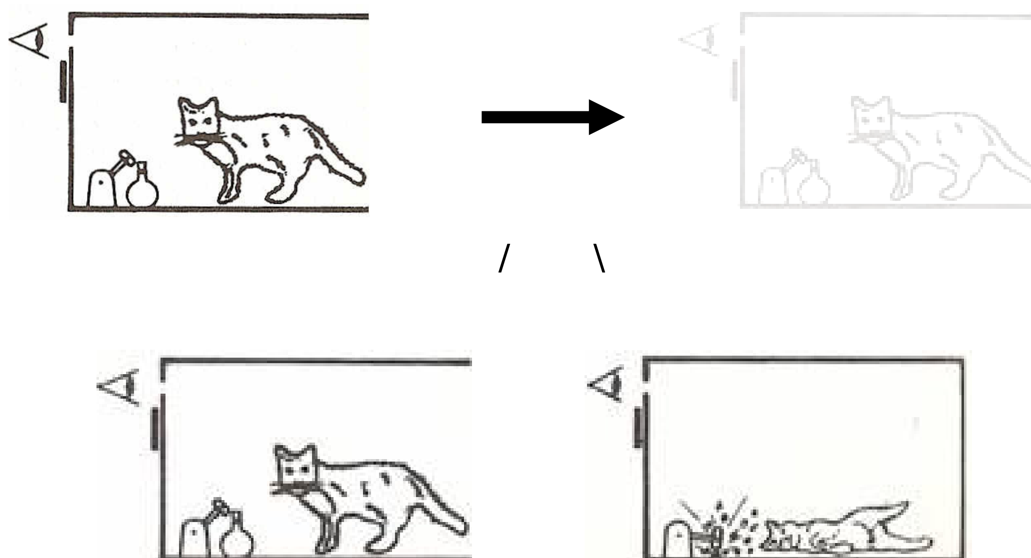


Fig. 17. La triste historia del gato de Schrödinger. Un proceso cuántico puede disparar un chorro de cianuro con una probabilidad de 1/2. La teoría cuántica nos dice que el sistema se encontrará en un estado fantasmal de gato vivo y gato muerto hasta que se haga una observación, en cuyo caso descubriremos un gato vivo o un gato muerto. Este experimento imaginario pone de manifiesto las extrañas consecuencias do lo observado según la teoría cuántica.

Aceptar la tesis de Wigner implica volver a la vieja idea del dualismo. Es decir, la mente es un ente separado que existe en el mismo plano que la materia y puede actuar sobre ésta haciéndola mover, violando aparentemente las leyes de la física. Wigner acepta esto serenamente: «¿Influye la conciencia sobre las condiciones físico-químicas (del cerebro)? En otras palabras, ¿se desvía el cuerpo humano de las leyes de la física como se deduce del estudio de la materia inanimada? La respuesta tradicional es "No: el cuerpo ejerce influencia sobre la mente pero la mente no influye sobre el cuerpo". Sin embargo, se pueden dar como mínimo dos razones para apoyar la tesis opuesta.» Una de las dos razones a que se refiere Wigner es la ley de la acción y la reacción. Si el cuerpo actúa sobre In mente, el recíproco debería ser cierto. La otra es la anteriormente mencionada resolución del problema cuántico de la medición.

Hay que admitir que muy pocos físicos apoyan las ideas de Wigner, a pesar de que algunos se han servido de la acción cuántica le "la mente sobre la materia" para argumentar sobre la aceptabilidad de algunos fenómenos paranormales como la psicocinesia y el doblamiento de metales a distancia ("si la mente puede activar neuronas, ¿por qué no puede doblar cucharas?").

La tesis de Wigner está plagada de confusiones de planos. Intentar discutir el funcionamiento del hardware (electrones en movimiento) apelando al software (la mente) es caer en la trampa dualismo. Sin embargo, la situación es aquí mucho más sutil, ya que el hardware y el software están profundamente entrelazados en la teoría quántica (por ejemplo, en la dualidad onda-partícula). Sea cual sea su validez, las ideas de Wigner nos sugieren que la solución al problema mente-cuerpo puede estar relacionada con la solución del problema de la medición en la mecánica cuántica.

Otro intento de superar la paradoja de la medición en la teoría es quizá incluso más extraño que el de Wigner. Mientras trabajemos con sistemas físicos finitos, es posible extender la cadena de von Neumann. Se puede afirmar que cada cosa percibida es real, ya que existe un sistema mayor que da realidad a lo que vemos al "medirlo" u "observarlo". Sin embargo, en años recientes los físicos se han ido interesando en el tema de la cosmología cuántica (la teoría cuántica del Universo). Por definición, no puede haber nada fuera del Universo (excepto Dios, quizá) capaz de reducir el panorama cósmico entero a la existencia concreta. En este nivel, el Universo parece estar atrapado en un estado de limbo o esquizofrenia cósmica. Sin una mente como la de Wigner que sea capaz de integrarlo, el Universo parece destinado a languidecer como una mera colección de fantasmas, una superposición de realidades solapadas, alternativas y multihíbridas sin que ninguna de ellas sea la verdadera realidad. ¿Por qué, entonces, percibimos una sola y concreta realidad?

He aquí una audaz idea para este tema desconcertante: la teoría de los universos paralelos. Propuesta por el físico Hugh Everett en 1957 y desarrollada posteriormente por Bryce DeWitt de la Universidad de Texas en Austin, la teoría propone que todos los mundos' cuánticos alternativos posibles son igualmente reales y que existen paralelamente a los demás. Siempre que se hace una medición para determinar, por ejemplo, si el gato está vivo o muerto, el Universo se divide en dos, uno que contiene un gato vivo y el otro un gato muerto. Ambos mundos son igualmente reales y ambos contienen observadores humanos. Cada conjunto de habitantes, sin embargo, percibe únicamente su propia rama del Universo.

El sentido común se puede rebelar contra este extraordinario Universo que se ramifica en dos como resultado de los antojos de un solo electrón, pero la teoría se defiende bien frente a un examen más riguroso. Cuando el Universo se divide, nuestras mentes se fragmentan con él y una copia va a habitar a cada mundo. Cada copia cree que es única. Aquellos que objetan que no se sienten a sí mismos dispersados deberían reflexionar sobre el hecho de que tampoco sienten el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. La división se repite una y otra vez. El Universo se reproduce incontables veces cada segundo. Tampoco es necesario efectuar una medición para que la copia se produzca. Basta meramente con que una sola partícula microscópica interactúe de algún modo con un sistema macroscópico. En palabras de DeWitt:

Cada transición cuántica que tiene lugar en cada una de las estrellas, en cada una de las galaxias, en cada remoto rincón del Universo está dividiendo nuestro mundo local en la Tierra en miríadas de copias de sí mismo. ¡Pura esquizofrenia!

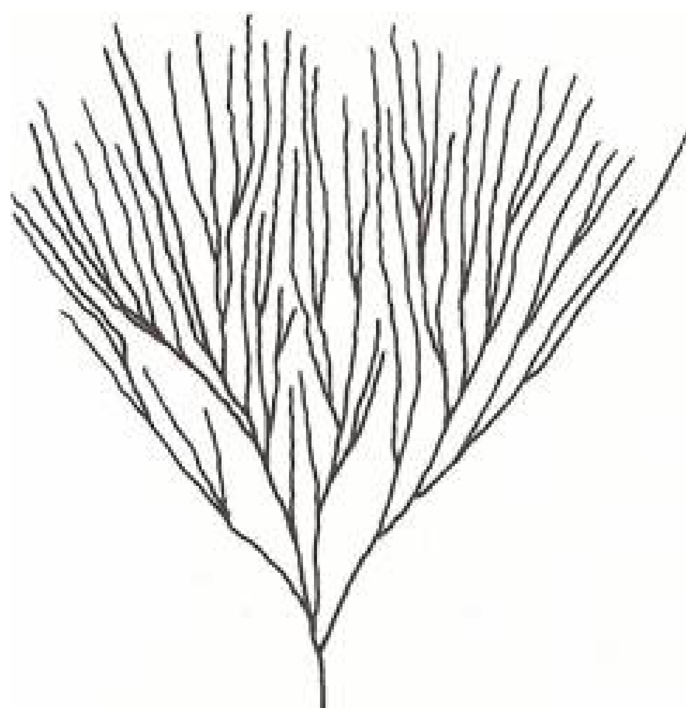


Fig. 18. Los gatos a la vez vivos y muertos y otras esquizofrénicas irrealidades cuánticas pueden evitarse con la propuesta de Everett según la cual el indeterminismo de los sistemas cuánticos da lugar a una realidad arborescente en la que el Universo se ramifica continuamente en miríadas de "Universos paralelos", físicamente desconectados pero con el mismo grado de realidad. La mente del observador también se escinde en multitud de copias.

El precio a pagar por la restauración de la realidad es la existencia de una multiplicidad de realidades (un prodigioso número creciente de universos paralelos que divergen a lo largo de sus distintas ramas evolutivas).

¿Cómo son estos otros mundos? ¿Podemos llegar a ellos? ¿Proporcionan alguna explicación de los OVNI o de las misteriosas desapariciones del triángulo de las Bermudas? Desgraciadamente para los ufólogos, la teoría de Everett es explícita en este sentido. Los mundos paralelos, una vez desconectados, se encuentran físicamente aislados para todo propósito práctico. Reunificarlos de nuevo exigiría deshacer una medición y, con ello, invertir el curso

del tiempo. Sería algo parecido a reconstruir un huevo roto, átomo a átomo.

Pero, ¿dónde están estos mundos? En cierto sentido, aquellos que se parecen bastante al nuestro están muy próximos. Sin embargo, son totalmente inaccesibles: no podemos alcanzarlos, por muy lejos que viajemos en nuestro espacio y nuestro tiempo. El lector de este libro no se encuentra a más de un centímetro de millones de réplicas suyas, pero esta distancia no se mide en el espacio de nuestras percepciones.

Cuanto más separados se encuentran estos mundos, tanto mayores son sus diferencias. Los mundos que se han separado del nuestro de un modo trivial, como el camino de un fotón en el experimento de la doble rendija, son prácticamente indistinguibles del nuestro. Otros diferirán por su población de gatos. En algunos mundos, Hitler no habrá existido y John Kennedy estará aún vivo. Otros serán radicalmente distintos, especialmente aquellos que se separaron en épocas cercanas al principio del tiempo. De hecho, cualquier cosa que pueda ocurrir (aunque no todas las cosas que conceptualmente puedan ocurrir) sucede en alguna parte, en alguna de las ramas de esta ramificada realidad.

La existencia simultánea de todos los mundos posibles da pie a la intrigante cuestión de por qué el mundo en el que este libro se está leyendo es el que conocemos y no uno cualquiera de las otras ramas diferentes. Evidentemente, el lector no podría existir en todos, ni tan sólo en la inmensa mayoría, de los demás mundos, puesto que en ellos las condiciones no son siquiera favorables para la vida (volveremos a este tema en el capítulo 12).

Se dice a menudo que la teoría cuántica, al dar a la mente un papel tan fundamental, abre la puerta a la comprensión del libre albedrío. La vieja idea de un Universo determinista en el que cada cosa que hacemos está determinada mecánicamente por lo que ocurrió mucho antes de nuestro nacimiento parece estar superada

por el factor cuántico. Sin embargo, antes de abandonar la concepción determinista del mundo en favor del libre albedrío es conveniente ahondar más profundamente en los misterios del tiempo.

IX. EL TIEMPO

«Todos los sentidos de la palabra experiencia presuponen la distinción entre pasado y futuro.»
CARL VON WEISACKER

«Pero a mi espalda siempre escucho el carro alado del tiempo que me persigue.»
ANDREW MARWELL

Dos grandes revoluciones engendraron lo que se ha dado en llamar la nueva física: la teoría cuántica y la teoría de la relatividad. Esta última, debida casi exclusivamente al trabajo de Einstein, es una teoría del espacio, del tiempo y del movimiento. Sus consecuencias son tan desconcertantes y profundas como las de la teoría cuántica y hacen tambalear muchas de las ideas más arraigadas sobre la naturaleza del Universo. Esto es especialmente cierto en lo que respecta al tiempo.

El tiempo es tan fundamental para nuestra experiencia del mundo que cualquier intento de cambiar las ideas comunes que se tienen sobre él se enfrenta con gran resistencia y escepticismo. Cada semana recibo cartas de científicos aficionados que afirman haber encontrado errores en el trabajo de Einstein y que intentan restablecer el concepto tradicional del tiempo, a pesar de los casi ochenta años de éxito con que cuenta la teoría, durante los cuales ni un solo experimento ha dejado de respetar las predicciones de la teoría de la relatividad.

Nuestra propia noción de la identidad personal (el yo, el alma) está estrechamente ligada a la memoria y a la experiencia duradera.

No es suficiente con decir que "yo existo en este instante". Ser un individuo implica un continuo de experiencias ligadas mediante un factor vinculante, como la memoria. Las grandes connotaciones emocionales y religiosas del tema explican, probablemente, tanto la resistencia hacia las afirmaciones de la nueva física como la profunda fascinación que los científicos y los no expertos comparten por las intrincadas consecuencias de la teoría de la relatividad.

La denominada teoría especial de la relatividad, publicada en 1905, surgió de los intentos de solucionar el conflicto aparente entre el movimiento de los cuerpos materiales y la propagación de las perturbaciones electromagnéticas. En particular, el comportamiento de las señales luminosas parece violar flagrante mente el antiguo principio de que todo tipo de movimiento uniforme es relativo.

No vamos a entrar en los detalles técnicos. Lo importante es que Einstein restableció el principio de relatividad, incluso en el caso de las señales luminosas.
La primera víctima de la teoría especial fue la creencia de que el tiempo es absoluto y universal. Einstein demostró que, de hecho, el tiempo es elástico y se puede dilatar o contraer con el movimiento. Cada observador transporta su propia escala personal de tiempos, que no concuerda generalmente con la de los otros observadores. En nuestro propio sistema de referencia, el tiempo nunca aparece distorsionado. Sin embargo, relativamente a otro observador que se mueva de manera distinta, nuestro tiempo puede estar totalmente desincronizado. Este misterioso desajuste de las escalas temporales abre la posibilidad de un curioso tipo de viaje a través del tiempo. En un sentido, todos viajamos en el tiempo en dirección al futuro, aunque la elasticidad del tiempo hace que unas personas lleguen antes que otras. El movimiento rápido nos permite frenar nuestra propia escala de tiempos y dejar que el mundo corra a toda velocidad. Mediante esta estrategia es posible llegar a un momento distante con mayor celeridad que permaneciendo en reposo. En principio, se podría alcanzar el año 2000 en unas pocas horas. Sin embargo, para conseguir una apreciable distorsión del tiempo se requieren velocidades de muchos miles de kilómetros por segundo. Con las velocidades de los cohetes de que se dispone en la actualidad sólo se pueden detectar minúsculas dilaciones con ayuda de relojes atómicos de alta precisión. La clave de estos efectos es la velocidad de la luz. Cuanto más nos acercamos a la velocidad de la luz, mayores son las distorsiones en la escala temporal. La teoría prohíbe a cualquier objeto natural romper la barrera de la velocidad de la luz (lo que tendría el efecto de invertir el curso del tiempo).

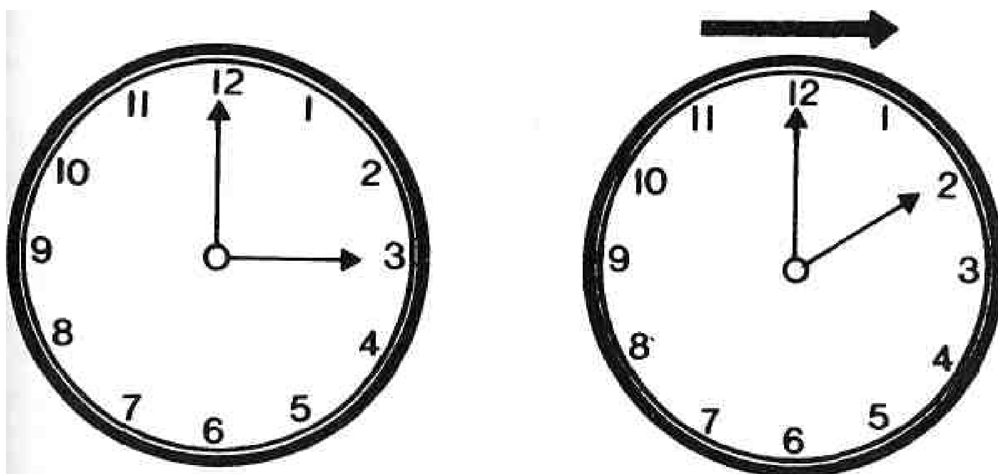


Fig. 19. El efecto de la dilatación del tiempo puede observarse con la ayuda de relojes atómicos a grandes velocidades o de partículas subatómicas con ritmos de desintegración conocidos. El reloj en movimiento se atrasa en relación a su vecino inmóvil. Este retraso da lugar al famoso "efecto de los mellizos", responsable de que el astronauta que regresa de un viaje a gran velocidad es unos años más joven que su hermano mellizo que permaneció en Tierra.

Es posible reducir el paso del tiempo espectacularmente usando partículas subatómicas a altas velocidades. Dando vueltas en un acelerador gigante con velocidades muy próximas a las de la luz, las partículas llamadas muones pueden "mantenerse vivas" durante tiempos docenas de veces mayores que los que se podría esperar si estuvieran en reposo (se desintegran en un microsegundo más o menos).

Efectos igualmente extraordinarios afectan al espacio, que es elástico. Cuando el tiempo se dilata, el espacio se comprime. Cuando pasamos en un tren a gran velocidad por delante de una estación de ferrocarril, el reloj de la estación corre ligeramente más rápido visto desde nuestro sistema de referencia que desde el de una persona estacionada en la plataforma. En compensación, la plataforma parece más corta desde nuestro punto de vista. Desde luego, nunca notamos tales efectos porque nuestras velocidades ordinarias son extraordinariamente pequeñas. Sin embargo, pueden

medirse fácilmente con instrumentos muy sensibles. Las distorsiones mutuas del espacio y el tiempo se pueden interpretar como una conversión del espacio (que se contrae) en tiempo (que se dilata).

Sin embargo, un segundo de tiempo equivale a una enorme cantidad de espacio (alrededor de 300.000 kilómetros para ser más exactos).

Las distorsiones del tiempo son el tema favorito de los escritores de ciencia ficción. Pero no hay nada de ficción en ellas. Ocurren realmente. Una ilustración espectacular de este efecto es la llamada paradoja de los mellizos. Dos gemelos idénticos participan en un experimento; uno de ellos abandona la Tierra en un cohete que viaja a una velocidad cercana a la de la luz hacia la estrella más próxima (alfa Centauri), llega a ella y luego regresa. La duración de este viaje medida por el gemelo que permanece en la Tierra es de diez años. Sin embargo, para el viajero sólo ha transcurrido un año y, por tanto, será más joven que el que se quedó en casa. Su gran velocidad le ha permitido experimentar un solo año de tiempo durante los diez años que han transcurrido en la Tierra.

Einstein fue más allá y generalizó su teoría para incluir los efectos de la gravedad. En su teoría general de la relatividad, la gravedad no es una fuerza, sino una distorsión de la geometría del espacio-tiempo. En esta teoría, el espacio-tiempo no es "plano", no obedece a los postulados habituales de la geometría euclídea, sino que es curvo o distorsionado, con distorsiones tanto del tiempo como del espacio.

Como ya mencionamos en el capítulo 2, los instrumentos modernos son tan sensibles que incluso se puede detectar la distorsión del campo gravitacional terrestre situando relojes en cohetes. El tiempo corre realmente más deprisa en el espacio, donde el campo gravitatorio terrestre es más débil.

Cuanto más fuerte es la gravedad, más pronunciada es la distorsión del tiempo. Hay estrellas donde el poder de la gravedad es tan enorme que el tiempo se retrasa considerablemente con respecto nosotros. De hecho, estas estrellas se encuentran en el límite más allá del cual las distorsiones incontroladas del tiempo hacen su aparición. Si la gravedad de la estrella fuera unas cuantas veces mayo), la distorsión del tiempo podría intensificarse hasta que, alcanzase un cierto valor crítico de la gravedad, el tiempo se detendría igualmente. Vista desde la Tierra, la superficie de la estrella parece congelada en la inmovilidad. Sin embargo, no podríamos observar la extraordinaria suspensión temporal, ya que la luz necesaria se ve también afectada por el mismo aletargamiento y su distancia disminuye hasta valores por debajo de la región visible del espectro. La estrella nos parecería negra.

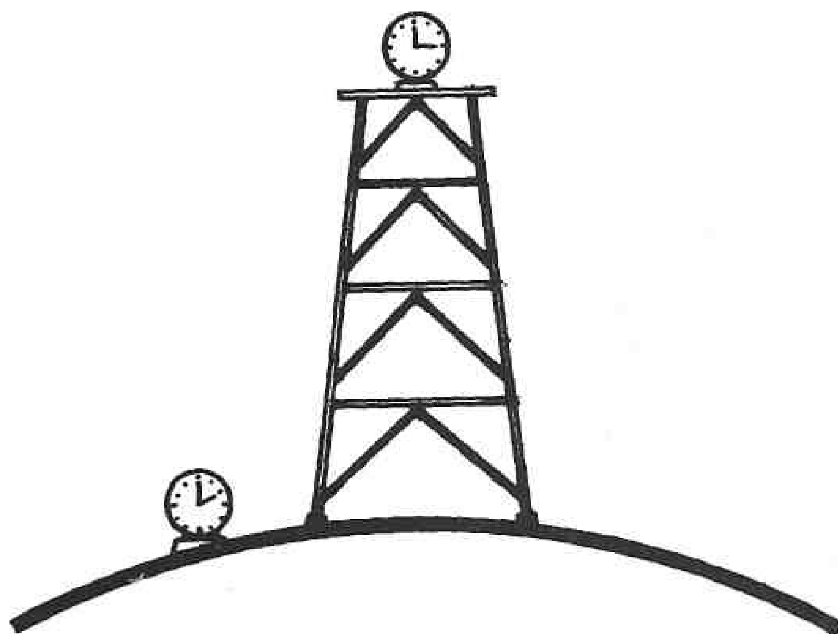


Fig. 20. La gravedad retarda el tiempo, según puede comprobarse experimentalmente incluso en la Tierra. El reloj de la torre se adelanta con respecto al de la base.

La teoría nos dice que una estrella en estas condiciones no permanece inerte sino que se hunde sobre sí misma a causa de su propia gravedad, contrayéndose violentamente en un microsegundo, hasta el borde del tiempo, la singularidad espaciotemporal, dejando tras de sí un agujero en el espacio, un agujero negro. La distorsión temporal de la estrella permanece como una marca en el espacio vacío.

Un agujero negro, por consiguiente, representa un camino rápido a la eternidad. En este caso extremo, el gemelo del cohete no alcanzaría sólo el futuro más deprisa, sino que podría alcanzar el fin del tiempo en un abrir y cerrar de ojos. En el instante en que penetrase en el agujero, fuera habría transcurrido toda la eternidad de acuerdo a su determinación relativa del "ahora". Una vez dentro del agujero, por tanto, se encontraría prisionero de una distorsión temporal y sería incapaz de regresar de nuevo al Universo exterior, ya que éste ya habría concluido. Se encontraría literalmente más allá del fin del tiempo en lo que respecta al resto del Universo. Para emerger del agujero debería salir antes de haber entrado. Esto es absurdo y demuestra que no hay escape. El poder inexorable de la gravedad del agujero arrastra al desafortunado astronauta hacia la singularidad donde, un microsegundo después, alcanza el borde del tiempo y desaparece. La singularidad señala el fin de un viaje sin retorno hacia "ninguna parte" y "ningún momento". En un "nolugar" donde el Universo desaparece.

La mejor manera de resumir la revolución en nuestra concepción del tiempo que aporta la teoría de la relatividad es decir que, anteriormente, el tiempo se consideraba como algo absoluto, fijo y universal, independiente de los cuerpos materiales y los observadores. Hoy, el tiempo se considera algo dinámico. Puede dilatarse y contraerse, distorsionarse, incluso detenerse completamente en una singularidad. Los ritmos de los relojes no son

absolutos, sino relativos al estado de movimiento o a la situación gravitacional del observador.

Liberar el tiempo de la camisa de fuerza de la universalidad y permitir que el tiempo de cada observador corra hacia delante libre e independientemente, nos fuerza a abandonar algunas hipótesis.
Por ejemplo, no puede haber acuerdo unánime sobre la elección del "ahora". En la paradoja de los mellizos, el mellizo del cohete podría haberse preguntado: ¿qué estará haciendo ahora mi hermano en la Tierra? Sin embargo, el desajuste de sus escalas temporales relativas significa que "ahora" en el marco del cohete es un momento totalmente diferente del "ahora" visto desde la Tierra. No existe un "momento presente" universal. Puede ser que dos sucesos, A y B, que ocurren en lugares separados, sean simultáneos para un observador, mientras que otro observador puede ver que A ocurre antes que B y otro, incluso, que B ocurre antes que A. La idea de que el orden temporal de dos sucesos puede parecer diferente para distintos observadores es paradójica. ¿Puede destruirse el blanco antes de disparar el cañón? Afortunadamente para la causalidad esto no ocurre. Para que la secuencia de sucesos A y B sea incierta, ambos deben ocurrir en un intervalo temporal tan breve que en él la luz no pueda viajar del punto A al punto B. En la teoría de la relatividad, las señales de luz rigen todas las reglas y en particular prohíben a cualquier influencia o señal viajar más deprisa que ellas mismas. Si la luz no es suficientemente rápida para conectar A y B nadie más puede hacerlo, de modo que A y B no pueden influirse mutuamente de ninguna manera. No existe ninguna conexión causal entre ellos; invertir el orden temporal de A y B no significa invertir causa y efecto.

Una víctima inevitable de la inexistencia de un presente universal es la separación ordenada del tiempo en pasado, presente y futuro. Estos términos tienen sentido local, pero no pueden aplicarse a todas partes. Preguntas tales como "¿qué está sucediendo

ahora en Marte?" intentan referirse a un instante particular en aquel planeta, pero, como hemos visto, un viajero espacial que formulara la misma pregunta en el mismo instante se estaría refiriendo a un momento distinto en Marte. De hecho, el abanico de posibles "ahoras" en Marte disponibles para un observador cercano a la Tierra (en función de su velocidad) cubre, en realidad, varios minutos. Cuanto mayor es la distancia al objeto, mayor es el número de "ahoras" posibles. Para un quásar distante, "ahora" se podría referir a cualquier punto en un intervalo de miles de millones de años. El simple efecto de estar dando un paseo a pie alteraría el "momento presente" de un quásar en miles de años.

El abandono de una clara distinción entre pasado, presente y futuro es un paso profundo, puesto que es muy grande la tentación de suponer que sólo el presente existe realmente. Se supone, generalmente sin pensarlo, que el futuro no está aún formado ni quizá determinado; el pasado se ha esfumado, aunque lo podamos recordar. Queremos creer que el pasado y el futuro no existen. Sólo un Instante de la realidad parece ocurrir "a la vez". La teoría de la relatividad convierte estas nociones en algo sin sentido. Pasado, presente y futuro deben ser igualmente reales, puesto que el pasado de una persona es el presente de otra y el futuro de una tercera.

La actitud mental del físico respecto al tiempo está condicionada fuertemente por los resultados de la teoría de la relatividad y puede parecer bastante extraña a un no iniciado en el tema. El físico raramente se detiene a pensar dos veces sobre ello. No considera el tiempo como una colección de sucesos que ocurren, sino que todo el pasado y el futuro está sencillamente ahí y el tiempo se extiende en cualquier dirección desde cualquier momento dado, de un modo semejante a como el espacio se expande desde un lugar determinado. De hecho, la comparación es más que una analogía, puesto que, en la teoría de la relatividad, el espacio y el tiempo están

estrechamente interrelacionados, unidos en lo que los físicos llaman espacio tiempo.

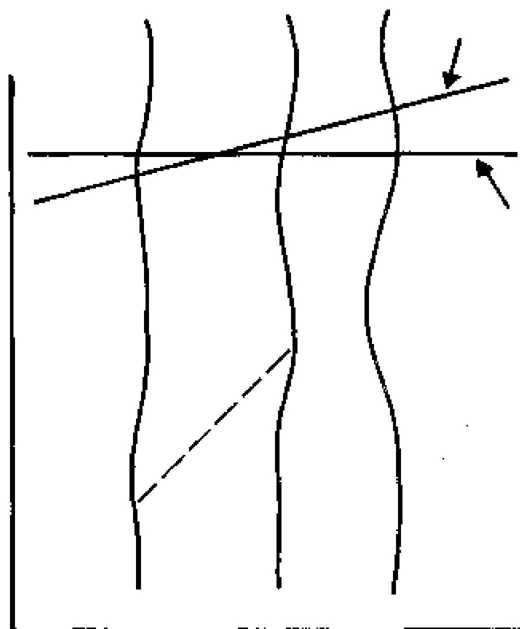


Fig. 21. Para los físicos el tiempo no pasa, sino que se extiende como parte del "espaciotiempo", una estructura tetradimensional que aquí se representa como un plano al suprimir dos direcciones espaciales. Cada punto del plano es un "suceso". Las líneas serpenteantes son las trayectorias de los cuerpos que se mueven; la línea discontinua es la trayectoria de una señal luminosa entre dos cuerpos. La línea horizontal representa una sección instantánea de todo el espacio desde el punto de vista de un observador. Para otro observador que se moviera de otro modo, la sección sería oblicua. Debe haber, pues, una extensión temporal (vertical) para que el mundo sea inteligible. Pero no hay ninguna "sección" vertical que represente un único "presente" común. De ahí la imposibilidad de una división en un pasado, un presente y un futuro universales.

Nuestra percepción psicológica del tiempo difiere tan radicalmente de la del modelo físico que incluso muchos físicos se han preguntado si no se les habría pasado por alto algún aspecto vital.

Eddington señaló una vez que hay una especie de "puerta falsa" en nuestras mentes por la que penetra el tiempo, además del camino usual que es a través de nuestros instrumentos de laboratorio y nuestros sentidos. Nuestra sensación del tiempo es de algún modo más elemental que nuestra sensación de, por ejemplo, la orientación espacial o la materia. Se trata más de una experiencia interna que corporal. Podemos decir que sentimos el paso del tiempo (una sensación tan pronunciada que constituye el aspecto más elemental de nuestra experiencia). Es un decorado cinético en el que se perciben nuestros pensamientos y actividad.

Muchos físicos se han sentido profundamente confundidos al investigar este misterioso fluir del tiempo. Todo físico reconoce que existe una asimetría pasado-futuro en el Universo, producida por la segunda ley de la termodinámica. Sin embargo, cuando se examina el fundamento de esta ley, la asimetría parece esfumarse.

Esta paradoja se puede ilustrar fácilmente. Supongamos que en una habitación sellada se destapa un frasco de perfume. Después de un cierto tiempo, el perfume se habrá evaporado y dispersado por todos los rincones de la habitación. La transición del perfume líquido a aire perfumado es irreversible. Por mucho tiempo que esperemos, las moléculas diseminadas de perfume no encontrarán espontáneamente el camino de regreso a la botella para reconstituirse allí nuevamente en líquido. La evaporación y difusión del perfume es un ejemplo clásico de asimetría entre pasado y futuro. Si contemplásemos una película que nos mostrara el perfume regresa a la botella notaríamos inmediatamente que la película se estaba pasando hacia atrás en el proyector. No se trata de un fenómeno reversible.

Sin embargo, aquí surge una paradoja. El perfume se evapora y se dispersa bajo el impacto de miles de millones de colisiones moleculares. Las moléculas de aire, en su incesante agitación térmica, golpean las moléculas de perfume al azar barajándolas una

y otra vez hasta que el perfume está inextricable mente mezclado con el aire. Sin embargo, cada colisión molecular individual es totalmente reversible. Dos moléculas se aproximan, interactúan y se separan.

No existe en esto ninguna asimetría temporal. El proceso inverso sería también aproximación, choque y separación.

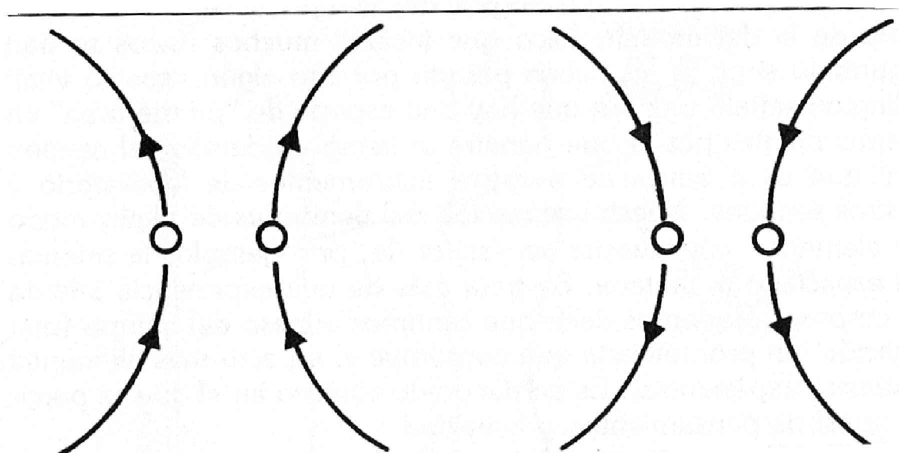


Fig. 22. El origen de la asimetría temporal del mundo es un misterio cuando examinamos la materia en el nivel atómico. Toda colisión entre moléculas es reversible y no muestra la más mínima preferencia por la orientación de pasado a futuro.

El misterio de la flecha del tiempo (¿cómo puede crearse una asimetría pasado-futuro a partir de moléculas que colisionan de manera simétrica?) ha avivado las imaginaciones de muchos físicos eminentes. El problema fue formulado por primera vez de una manera clara por Ludwig Boltzmann a finales del siglo XIX, pero la polémica sigue vigente en la actualidad. Algunos científicos han afirmado que hay una cualidad no material peculiar, un flujo temporal, que es responsable de la flecha del tiempo. Sostienen que los movimientos moleculares ordinarios son incapaces de marcar la asimetría pasado-futuro, de modo que este nuevo ingrediente, el

flujo temporal, es esencial. Se ha buscado el origen del flujo en los procesos cuánticos o en la expansión del Universo. En cierto modo, la creencia en un flujo temporal es análoga a la creencia en una fuerza vital y, por consiguiente, igualmente dudosa.

El error estriba en pasar por alto el hecho de que la asimetría temporal, como la vida, es un concepto holístico y no puede reducirse a las propiedades de las moléculas individuales. No hay ninguna inconsistencia entre la simetría en el plano molecular y la asimetría a escala macroscópica. Se trata simplemente de dos niveles de descripción distintos. Tal vez el tiempo no "fluye" en realidad, sino que es una ilusión.

Cuando intentamos fijar el origen del flujo temporal en nuestras percepciones nos encontramos con la misma mezcla de paradoja y confusión que cuando tratamos de comprender el yo, y es difícil escapar a la impresión de que los dos problemas están estrechamente relacionados. Solamente en el flujo del río del tiempo podemos percibimos a nosotros mismos. Hofstadter ha escrito sobre el "torbellino vertiginoso de la autorreferencia" que produce lo que llamamos conciencia y autoconciencia, y creo firmemente que es este propio torbellino el que mantiene el flujo temporal psicológico. Por ello mantengo que el secreto de la mente sólo será resuelto cuando entendamos el secreto del tiempo.

Se pueden encontrar imágenes poéticas del tiempo en el arte y la literatura: la flecha del tiempo, el río del tiempo, el carro del tiempo, el tiempo que avanza. Se dice que el "ahora", que el momento presente de nuestra conciencia, avanza uniformemente a través del tiempo, desde el pasado al futuro, de manera que, finalmente, el año 2000 se convertirá en el "ahora". Por la misma razón, el instante en el que usted leyó esa frase ya ha pasado y pertenece a la historia. Algunas veces el ahora se considera anclado y es el tiempo el que fluye como un río ante un observador detenido en la orilla.

Estas imágenes son inseparables de nuestro sentimiento del libre albedrío. El futuro parece no estar todavía formado y es, por tanto, susceptible de ser modelado por nuestras acciones antes de que llegue. Sin embargo, ¿no será todo esto un montón de disparates?

Los problemas afloran instantáneamente cuando se intentan salvar las anteriores imágenes. Una conversación en el año 1994 entre un físico y un escéptico sería más o menos semejante a la siguiente:

Escéptico: Acabo de leer esta cita de Einstein: «Debemos aceptar la idea de que el tiempo subjetivo con su énfasis en el ahora no tiene ningún significado objetivo... la distinción entre el pasado, presente y futuro es solamente una ilusión, aunque persistente.» Einstein debía de estar mal de la cabeza.

Físico: En absoluto. En el mundo externo no existe pasado, presente ni futuro. ¿Cómo se podría determinar el presente con instrumentos? Es un concepto puramente psicológico.

Escéptico: ¡Oh, vamos!, no puede hablar en serio. Todo el mundo sabe que el futuro aún no ha ocurrido, mientras que el pasado ya se ha esfumado. Nosotros recordamos lo que ocurrió. ¿Cómo se puede confundir el ayer con el mañana o con el hoy?

Físico: Desde luego, se debe hacer una distinción entre los diversos días de una sucesión, pero son las etiquetas que usted usa lo que yo pongo en tela de juicio. Incluso usted estará de acuerdo en que el mañana nunca llega.

Escéptico: Esto es sólo un juego de palabras. El mañana llega, sólo que cuando lo hace le llamamos hoy.

Físico: Precisamente. Cada día se le llama hoy en aquel día. Cada momento se le llama "ahora" cuando se vive. La división entre el pasado y el futuro es el resultado de una confusión lingüística. Déjeme ayudarle

a salir de ella. Cada instante de tiempo puede ser adscrito a una fecha concreta. Por ejemplo, las 14.00 horas del 3 de octubre de 2005. El calendario es arbitrario, pero una vez lo hemos decidido por convenio, la fecha de cualquier suceso o momento particular está fijada de una vez por todas. Asignando etiquetas de fechas a todos los sucesos, podemos describir todas las cosas en el mundo sin tener que recurrir a dudosas construcciones como pasado, presente y futuro.

Escéptico: Pero 2005 está en el futuro. Todavía no ha sucedido. Su calendario ignora un aspecto crucial del tiempo: su flujo.

Físico: ¿Qué quiere decir que 2005 está en el futuro? Está en el pasado de 2006.

Escéptico: Pero no estamos en 2006 ahora.

Físico: ¿Ahora?

Escéptico: Sí, ahora.

Físico: ¿Cuándo es ahora? Cada instante es "ahora" cuando lo vivimos.

Escéptico: Este ahora. Quiero decir este ahora.

Físico: ¿Quiere decir ahora en 1994?

Escéptico: Si así lo desea.

Físico: ¿No ahora en 2006?

Escéptico: No.

Físico: Entonces todo lo que está diciendo es que 2005 está en el futuro de 1994 pero en el pasado de 2006. No lo niego. Es precisamente lo que describe mi calendario. De modo que, como puede ver, hablar del pasado y futuro es innecesario, después de todo.

Escéptico: ¡Pero esto es absurdo! 2005 todavía no ha sucedido. El hecho con el que probablemente estará de acuerdo.

Físico: Naturalmente. Todo lo que usted está diciendo es que nuestra conversación se produce antes de 2005. Permítame que lo repita. La existencia de un conjunto ordenado de sucesos con una relación antes-después o de pasado-futuro entre ellos. Estoy negando solamente, la existencia del pasado, del presente y del futuro. Claramente no existe un presente, puesto que usted y yo hemos experimentado muchos "presentes" en nuestra vida. Algunos sucesos permanecen en el pasado o en el futuro de otros sucesos, pero los propios sucesos están simplemente allí, no ocurren uno por uno.

Escéptico: ¿Es esto lo que algunos físicos quieren decir cuando afirman los sucesos del pasado y del futuro existen junto a los del presente, es decir, que de algún modo están ahí pero que solamente podemos encontrarlos uno detrás del otro?

Físico: Realmente no los "encontramos" en absoluto. Nosotros experimentamos cada suceso del cual somos conscientes. No están esperando que nos deslicemos hasta ellos, hablando en un sentido temporal. Existen simplemente sucesos y estados mentales asociados con ellos. Usted habla como si la mente fuera transportada hacia adelante en para tropezar con los sucesos del mañana. Su mente se extiende en el tiempo. Los estados mentales del mañana reflejan los sucesos de mañana, los estados mentales de hoy reflejan los sucesos de hoy.

Escéptico: Pero mi conciencia se mueve del hoy hacia el mañana.

Físico: ¡No! Su mente es consciente tanto del hoy como del mañana. Nada se mueve hacia adelante, hacia atrás o lateralmente.

Escéptico: Pero yo siento pasar el tiempo.

Físico: Espere un momento, si me perdona la expresión. Primero su mente se mueve hacia adelante en el tiempo y a continué que es el mismo tiempo el que se mueve hacia adelante. ¿En qué quedamos?

Escéptico: Yo veo el tiempo como el flujo de las aguas de un río, trayéndome los sucesos futuros. Tanto da si es el tiempo el que fluye a través de mi conciencia desde el pasado hacia el futuro, como si es el tiempo el que está fijo y mi conciencia la que se mueve desde el pasado hacia el futuro. Entiendo que las dos descripciones son equivalentes. El movimiento es relativo.

Físico: ¡El movimiento es ilusorio! ¿Cómo puede moverse el tiempo? Si se mueve, debe tener una velocidad. ¿Qué velocidad? ¿Un día por día?

Escéptico: Pero usted mismo acaba de decir "recordaremos". No tiene sentido. Un día es un día.

Escéptico: Pero si el tiempo no pasa, ¿cómo pueden cambiar las cosas?

Físico: Los cambios se producen debido a que los objetos van y vienen a través del espacio en el tiempo. El tiempo no se mueve. Cuando era niño solía preguntarme "¿por qué es ahora, en lugar de cualquier otro momento?". Cuando crecí aprendí que esta pregunta carece de sentido. Puede hacerse en cualquier instante del tiempo.

Escéptico: Pienso que es una pregunta perfectamente legítima. Después de todo, ¿por qué es 1994?

Físico: ¿Por qué es qué 1994?

Escéptico: Bien, ¿por qué estamos en 1994 ahora?

Físico: Su pregunta es semejante a preguntarse "¿por qué soy yo y no otra persona? Yo soy yo mismo por definición, sea cual sea la persona que haga la pregunta. Evidentemente en 1994 contemplamos 1994 como el "ahora". Lo mismo sería válido para cualquier otro año. Una pregunta legítima sería "¿por qué estoy viviendo en 1994 y no, por ejemplo, en el año 5000 a. C.?" o "¿por qué estamos manteniendo esta conversación en 1994 y no en 2006?". Sin embargo, no hay ninguna necesidad en absoluto de recurrir a las nociones de pasado, presente y futuro en tales discusiones.

Escéptico: Todavía no estoy convencido. Casi todos nuestros pensamientos y actividades diarios, los tiempos verbales de nuestro lenguaje, nuestras esperanzas, temores y creencias, están enraizadas en la distinción fundamental entre pasado, presente y futuro. Temo a la muerte porque todavía debo enfrentarme a ella y no sé lo que hay más allá, pero no m asusta no saber dónde estaba antes de nacer. El pasado es inalterable. Sabemos que ha sucedido gracias a nuestros recuerdos. Sin embargo, no conocemos el futuro y creemos que está indeterminado, que nuestras acciones pueden ejercer alguna influencia sobre el mismo. Y en lo que se refiere al presente, bueno, éste es nuestro instante de contacto con el mundo externo, cuando nuestra mente ordena que nuestro cuerpo actúe. Byron escribió: «Actúa, actúa en el presente vivo.» En mi opinión, esto lo sintetiza admirablemente.

Físico: La mayor parte de lo que dice es cierto, pero no requiere un presente en movimiento. Desde luego, hay una asimetría entre el pasado y el futuro, y no solamente en nuestras experiencias, sino también en el mundo externo. La segunda ley de la termodinámica afirma que los sistemas tienden a volverse cada vez más desordenados. Otros sistemas poseen registros acumulados y "memoria". Piense, por ejemplo, en los cráteres de la Luna: constituyen un registro de sucesos pasados y no futuros. Todo lo que usted está diciendo es que los estados cerebrales posteriores almacenan más información que los estados cerebrales anteriores. Pero comete el error de expresar este simple hecho en la frase confusa y ambigua: "Recordamos el pasado y no el futuro", a pesar de que el pasado es una expresión carente de sentido. De hecho, en 2006 recordaremos 2005, que está en el futuro de 1994. Si nos ceñimos a las fechas, no tendremos necesidad de tiempos verbales, ni del flujo del tiempo, ni del ahora.

Escéptico: Pero usted mismo acaba de decir "recordaremos".

Físico: Podría haber dicho: "El estado de mi cerebro en 2006 registra información sobre los sucesos en 2005. Pero 2005 está en el futuro de 1994 de modo que no hay registrados en mi cerebro estados del 2005". Como puede ver, después de todo, no existe ninguna necesidad de un pasado y un futuro.

Escéptico: ¿Qué me puede decir del miedo al futuro, del libre albedrío y de la imprevisibilidad? Si el futuro ya existe, hay un completo determinismo. Nada se puede cambiar. El libre albedrío es una farsa.

Físico: El futuro no existe "de antemano". Esta frase es una contradicción, puesto que afirma que "existen sucesos simultáneamente con sucesos que existieron antes que ellos", lo cual es evidentemente un contrasentido por la misma definición de la palabra "antes". La imprevisibilidad no es más que una limitación práctica. Es verdad que solamente podemos predecir sucesos sencillos como un eclipse de Sol a causa de la gran complejidad del mundo. Sin embargo, previsibilidad no es lo mismo que determinismo. Usted está mezclando la epistemología con el misticismo. Los estados futuros del mundo pueden estar todos determinados por los sucesos anteriores, pero todavía son imprevisibles en términos prácticos.

Escéptico: ¿El futuro está, pues, determinado? Quiero decir, ¿están todos los sucesos completamente determinados por los sucesos anteriores?

Físico: En realidad, no. Por ejemplo, la teoría cuántica revela que, en el plano subatómico se producen espontáneamente, sin ninguna causa.

Escéptico: ¡De modo que el futuro no existe! ¡Podemos cambiarlo!

Físico: El futuro será lo que tenga que ser tanto si depende de nuestras acciones anteriores como si no. El físico ve el espaciotiempo desplegado como un mapa. Los sucesos corresponden a puntos de este mapa (algunos sucesos están ligados por relaciones causales a sucesos previos, otros, como la desintegración de un núcleo radiactivo, están etiquetados como "espontáneos"). Todo está ahí, tanto si se incorporan los vínculos causales como si no. Así, que mi creencia de que no existe pasado, presente y futuro no afecta para nada al libre albedrío o al determinismo. Este es un tema totalmente distinto (y constituye ciertamente un hervidero de confusiones).

Escéptico: Todavía no me ha explicado por qué siento el flujo del tiempo.

Físico: No soy neurólogo. Tendrá probablemente algo que ver con los procesos a corto plazo de la memoria.

Escéptico: ¿Está afirmando que todo es mental, que todo es una ilusión?

Físico: No sería muy inteligente recurrir a nuestros sentimientos para atribuir cualidades físicas al mundo externo. ¿Nunca se ha sentido mareado?

Escéptico: Desde luego.

Físico: Pero usted no intenta atribuir su sensación de mareo a una rotación del Universo, a pesar del hecho que usted siente girar el mundo.

Escéptico: No. Se trata claramente de una ilusión.

Físico: Del mismo modo, mantengo que el paso del tiempo es una especie de mareo temporal al que se le da una falsa sensación de realidad mediante nuestro confuso lenguaje, con toda su estructura de tiempos verbales y frases sin sentido sobre pasado, presente y futuro.

Escéptico: Dígame más.

Físico: Ahora no puedo. No dispongo de tiempo...

¿Qué podemos concluir de este diálogo? No existe ninguna duda de que cuando organizamos nuestros asuntos diarios dependemos en gran medida de los conceptos de pasado, presente y futuro y de que creemos que el tiempo pasa realmente. Incluso los físicos acaban recurriendo a este modo de hablar y pensar como acabamos de ver, una vez que sus facultades analíticas les abandonan. Sin embargo, se debe admitir que cuanto más rigurosamente estudiamos los conceptos, tanto más resbaladizos y ambiguos parecen y todas nuestras afirmaciones acaban convirtiéndose en tautologías o en contrasentidos. El físico no tiene

necesidad del flujo del tiempo o del concepto del ahora. La teoría de la relatividad niega la existencia de un presente universal para todos los observadores. Si estos conceptos tienen algún significado (y algunos filósofos como McTaggart niegan que lo tengan), entonces parecen pertenecer a la psicología más que a la física.

Con esto se abre una interesante cuestión teológica. ¿Experimenta Dios el paso del tiempo?

Los cristianos creen que Dios es eterno. Ahora bien, la palabra "eterno" se ha usado para expresar dos cosas bastante diferentes.

En la versión más simple, eterno quiere decir que nunca acaba, o que existe sin principio ni fin durante un tiempo infinito. Existen grandes objeciones a esta idea de Dios. Un Dios que está en el tiempo está sujeto al cambio. Pero, ¿cuál puede ser la causa de este cambio? Si Dios es la causa de todas las cosas que existen (como nos dice el argumento cosmológico mencionado en el capítulo 3), ¿tiene entonces algún sentido decir que la propia causa última está cambiando?

En los capítulos anteriores hemos visto que el tiempo no está simplemente ahí, sino que forma parte del propio Universo físico.
Es "elástico" y se puede dilatar o contraer de acuerdo con leyes matemáticas bien definidas que dependen del comportamiento de la materia. Además, el tiempo está estrechamente vinculado al espacio, y el espacio y el tiempo juntos expresan el funcionamiento del campo gravitacional. En resumen, el tiempo está tan vinculado a todos los procesos físicos como la materia. El tiempo no es una cualidad divina, sino que puede ser alterado físicamente, incluso por la manipulación humana. Un Dios que esté en el tiempo está, por tanto, atrapado en el funcionamiento del Universo físico. Además, es bastante probable que el tiempo deje de existir en algún estado del futuro (como veremos en el capítulo 15). En este caso, la misma posición de Dios es insegura. Dios no puede ser omnipotente si está sujeto a la física del tiempo, ni puede ser considerado el

creador del Universo si no creó el tiempo. De hecho, dado que el espacio y el tiempo son inseparables, un Dios que no hubiera creado el tiempo tampoco habría creado el espacio. Sin embargo, como hemos visto, una vez garantizada la existencia del espacio y el tiempo, la materia y el orden del Universo podrían haber surgido automáticamente como resultado de una actividad perfectamente natural. Así, muchos sostienen que Dios no es realmente necesario como creador, excepto para crear el tiempo (el concepto espacio-tiempo para ser más precisos).

Esto nos lleva a otro significado de la palabra eterno: "atemporal". El concepto de un Dios más allá del tiempo data como mínimo de San Agustín, quien (como se vio en el capítulo 3) afirmó que el tiempo fue creado por Dios. La aceptan, también, muchos otros teólogos cristianos. San Anselmo lo expresó del siguiente modo: «Tú (Dios) no existes ni ayer ni hoy ni mañana, sino que existes directamente fuera del tiempo.» Un Dios atemporal está libre de estos problemas mencionados más arriba, pero adolece de los defectos discutidos en las últimas páginas del capítulo 3. No puede ser un Dios personal que piensa, conversa, siente, planea, etc., puesto que todas éstas son actividades temporales. Es difícil imaginar cómo un Dios atemporal puede actuar de modo alguno en el tiempo (aunque se ha afirmado que esto no es imposible). Hemos visto también que el sentido de la existencia del yo está asociado íntimamente con la experiencia de un flujo temporal. Un Dios atemporal no podría ser considerado como una "persona" o individuo en ningún sentido conocido. Dudas de este estilo han conducido a buen número de teólogos modernos a rechazar la posibilidad de un Dios eterno. Según Paul Tillich: «Si llamamos Dios a un Dios viviente, estamos afirmando que incluye temporalidad.» Karl Barth se hace eco del mismo sentimiento: «Sin la completa temporalidad de Dios, el contenido del mensaje cristiano no tiene forma.» La física del tiempo tiene también interesantes

implicaciones para la creencia de que Dios es omnisciente. Si Dios es atemporal no puede pensar, puesto que pensar es una actividad temporal.

Además, ¿puede un ser atemporal tener conocimiento? Adquirir conocimiento requiere claramente tiempo, pero el conocimiento en sí no lo requiere, siempre que las cosas que se conocen no cambien en el transcurso del tiempo. Si Dios conoce, por ejemplo, la situación de todos los átomos hoy, entonces este conocimiento será modificado por el mañana. Un conocimiento eterno debe por tanto exigir el conocimiento de todos los sucesos a lo largo del tiempo.

Hay, pues, importantes y fundamentales dificultades en reconciliar todos estos atributos tradicionales de Dios. La física moderna, con su descubrimiento de la mutabilidad del tiempo, coloca una cuña entre la omnipotencia de Dios y la existencia de su personalidad. Es difícil mantener que Dios posea ambas cualidades.

X. LIBRE ALBEDRÍO Y DETERMINISMO

«Nada sería incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes a nuestros ojos.»

PIERRE DE LAPLACE

Cuando Newton publicó sus leyes de la mecánica, mucha gente consideró el fin del concepto del libre albedrío. De acuerdo con teoría de Newton, el Universo es un enorme mecanismo de relojería que se mueve por un camino predeterminado hacia un estado al inalterable. La trayectoria de cada átomo está supuestamente da y decidida desde el principio del tiempo. Los seres humanos son nada más que máquinas atrapadas en este colosal mecanismo cósmico. Pero luego apareció la nueva física con su relatividad el tiempo y el espacio y su incertidumbre cuántica. Con ella, los temas de la libertad de elección y el determinismo pasaron nuevamente al primer plano de la más candente controversia.

Parece haber una oposición fundamental entre las dos teorías que constituyen la base de la nueva física. Por un lado, la mecánica cuántica otorga al observador un papel vital en la naturaleza de la realidad física; como hemos visto, muchos físicos afirman que existían pruebas experimentales concretas en contra de la noción de “realidad objetiva". Esto parece ofrecer a los seres humanos una excepcional capacidad de ejercer influencia sobre la estructura del Universo físico de un modo que no se podía ni soñar en la época de Newton. Por otro lado, la teoría de la relatividad, derribando los conceptos de tiempo universal y de pasado, presente y futuro absolutos, evoca una imagen de un futuro que, en cierto sentido, ya existe y, por tanto, convierte en irrisoria la victoria conseguida con la ayuda del factor cuántico. Si el futuro esta ahí, ¿cómo vamos a poder alterarlo?

En la vieja teoría newtoniana, cada átomo se mueve en una trayectoria que está unívocamente determinada por las fuerzas que actúan sobre el mismo. Las fuerzas, a su vez, están determinadas por otros átomos, y así sucesivamente. La mecánica newtoniana permite, en principio, predecir con precisión todo lo que ha de suceder si se conoce exactamente lo que sucede en un cierto instante.

Hay una rígida cadena de causas y efectos y cada fenómeno, desde el más minúsculo movimiento de una molécula hasta la explosión de una galaxia, está determinado en detalle con mucha anticipación. Fue esta concepción mecanicista la que condujo a Pierre de Laplace (1749-1827) a afirmar que si conociéramos todas las posiciones y velocidades de cada partícula del Universo en un cierto instante, poseeríamos la información necesaria para calcular toda la historia pasada y futura del Universo.

Sin embargo, el argumento del "calculador de Laplace" no está tan claro como puede parecer. En primer lugar, está el problema de si el cerebro puede, aunque sea en principio, calcular su propio estado futuro. McKay da razones para creer que la autopredecibilidad completa es imposible, incluso en un Universo mecanicista de tipo newtoniano. Supongamos que un supercientífico pudiera hurgar en nuestro cerebro y calcular con toda precisión lo que haríamos en un cierto instante del futuro. Esto no acaba con el libre albedrío desde un punto de vista lógico. La razón es que, a pesar de que su predicción fuera correcta, él no podría comunicárnosla antes del suceso sin echar a perder sus cálculos. Si nos dijera, por ejemplo, "usted aplaudirá", nuestro estado cerebral se vería alterado inevitablemente en relación al estado en que se encontraba antes de comunicarnos la predicción. Pero entonces no habría ninguna razón para creer en la predicción, ya que ésta estaría basada en un estado cerebral distinto del estado cerebral alterado. Por tanto, no se puede hacer ninguna predicción verosímil sobre nuestro comportamiento futuro. McKay argumenta de este modo que, por muy previsible e inevitable que nuestro comportamiento pueda parecer a un hipotético supercientífico, si éste oculta la predicción nuestro comportamiento continúa siendo lógicamente imprevisible para nosotros y conserva, por tanto, un elemento mínimo de lo que normalmente se entiende como libre albedrío.

Por otro lado, está la cuestión de si el Universo es previsible en la mecánica de Newton. Los recientes avances en la descripción matemática de los sistemas mecánicos han revelado que algunos tipos de fuerzas son responsables de una inestabilidad tan aguda en la evolución de ciertos sistemas que la previsibilidad no tiene sentido. Mientras que en un sistema mecánico "normal" ligeras variaciones de las condiciones iniciales producen sólo ligeras alteraciones del comportamiento posterior, hay sistemas ultrasensibles que evolucionan de manera totalmente diferente a partir de dos estados iniciales que difieren tan sólo en una cantidad infinitesimal. Además, los descubrimientos de la cosmología moderna revelan que nuestro Universo debe tener un horizonte que se expande en el espacio, y que cada día nuevas perturbaciones e interferencias penetran en el Universo desde regiones situadas más allá de este horizonte. Dado que estas regiones nunca han estado comunicadas causalmente con nuestra parte del Universo desde el principio del tiempo, no es posible, desde un punto de vista teórico, saber de antemano lo que tales influencias puedan ser.

Sin embargo, el argumento más importante en contra de una completa predicción es el factor cuántico. De acuerdo con los principios básicos de la teoría cuántica, la naturaleza es inherentemente imprevisible. El famoso principio de incertidumbre de Heisenberg nos asegura que existe siempre un indeterminismo irreducible en el funcionamiento de los sistemas subatómicos. En el microcosmos ocurren sucesos que no tienen una causa bien definida.

¿No entra en conflicto el fracaso del determinismo con la teoría de la relatividad? En esta teoría no hay un presente universal, y el pasado, el presente y el futuro del Universo forman un todo indivisible. El mundo es tetradimensional (tres dimensiones espaciales y una temporal) y todos los sucesos están ahí: el futuro no "ocurre" ni se "desarrolla".

El conflicto es, de hecho, ficticio. El determinismo hace referencia a la cuestión de si cada suceso está completamente determinado por una causa previa. No dice nada de si el suceso existe. Después de todo, el futuro se producirá igualmente tanto si está determinado por sucesos previos como si no lo está. Lo único que la perspectiva tetradimensional de la relatividad nos prohíbe es desmenuzar el espacio-tiempo de un modo absoluto en instantes universales de tiempo. La noción de dos sucesos "simultáneos" en distintos lugares depende del estado de movimiento relativo. Un cierto observador puede considerar que dos sucesos ocurren en el mismo instante, mientras que otro puede considerar que ocurren uno después del otro. El Universo se extiende en el tiempo al igual que en el espacio. Sin embargo, la teoría no dice nada de si la extensión temporal incluye rígidos vínculos de causa y efecto entre los sucesos. Así, a pesar de que pasado, presente y futuro parecen no tener ningún significado objetivo, la teoría de la relatividad no prohíbe que un ser humano pueda influir sobre los sucesos posteriores mediante sus acciones anteriores. (Recuérdese que la relación antes-después es una propiedad objetiva del tiempo, mientras que el pasado y el futuro no lo son.)

De todos modos, no está claro en absoluto que sólo un Universo no determinista permita el libre albedrío. De hecho, el determinista aduciría que el libre albedrío es únicamente posible en un Universo determinista. Un agente libre es, después de todo, aquel que es capaz de causar ciertos actos en el mundo físico. En un Universo no determinista ocurren sucesos sin ninguna causa. Pero, ¿podemos ser responsables de nuestros actos si éstos no están causados por nosotros? Los defensores del libre albedrío afirman que las actividades de una persona están determinadas, por ejemplo, por su carácter, inclinaciones y personalidad.

Supóngase que un hombre dócil y pacífico cometiera de repente un acto de violencia. El no determinista podría decir: "Fue

un suceso espontáneo sin ninguna causa previa. No podéis condenarlo." Por otro lado, el determinista declararía al hombre responsable, pero se consolaría pensando que podría ser rehabilitado mediante la educación, persuasión, psicoterapia, fármacos, etc., que le harían actuar de manera distinta en el futuro. Al fin y al cabo, el mensaje más importante de la mayor parte de las religiones es que somos capaces de mejorar nuestros caracteres. Pero esto solamente es posible en tanto que nuestro carácter futuro esté determinado por nuestras decisiones y acciones anteriores. Es importante darse cuenta de que el determinismo no implica que los sucesos ocurren a pesar de nuestras acciones. Algunos sucesos ocurren gracias a que nosotros los determinamos.

El determinismo no debe confundirse con la doctrina del fatalismo, la cual afirma que los sucesos futuros escapan totalmente a nuestro control. "Todo está escrito en las estrellas", declara el fatalista. "Será lo que tenga que ser." El soldado que se comporta imprudentemente en el campo de batalla en medio de una lluvia de balas mientras piensa "nada me evitará la muerte si alguna bala lleva escrito mi nombre" es un fatalista. Algunas religiones orientales tienen connotaciones fatalistas, especialmente en lo que se refiere a temas generales del mundo en los que no podemos intervenir. "Está más allá de mi capacidad influir sobre los sucesos de una manera o de otra." Esto es indudablemente cierto. La mayor parte de la gente no puede alejar el peligro de una guerra mundial o evitar la destrucción de una ciudad por el impacto de un enorme meteorito. Sin embargo, en la vida diaria influimos continuamente en el resultado de los sucesos en múltiples pequeños detalles. Nadie afirmaría seriamente: "No tengo que preocuparme del tráfico al cruzar una calle puesto que mi destino ya está de antemano decidido."

Sin embargo, todavía experimentamos grandes recelos frente al determinismo; de ahí que tanta gente se alegre de que el factor

cuántico lo destruya. Es cierto que nuestro anhelo de libertad incluye el requisito de que podamos decidir. Sin embargo, en un Universo completamente determinista la decisión está en sí misma predeterminada. En tal Universo, aunque quizá podamos hacer lo que nos plazca, aquello que nos place escapa a nuestro control. El argumento es más o menos el siguiente. Cuando se decide beber té en lugar de café, la decisión se debe a las influencias ambientales (por ejemplo, el té es más barato), factores psicológicos (el café es un estimulante más poderoso), factores culturales (el té es una bebida tradicional) y demás. Según el determinismo, cada decisión (cada antojo) está determinada de antemano. Si esto es así, por muy libres que podamos sentirnos de elegir té o café, nuestra elección estaba ya predestinada desde el instante de nuestro nacimiento (incluso antes). En un Universo completamente determinista todo está determinado desde el instante de la creación. ¿Deja esto algún resquicio a la libertad?

El problema es que es muy difícil decidir exactamente qué clase de libertad queremos. Una sugerencia es que la libertad real de elegir té o café quiere decir que si se repitieran exactamente las circunstancias que nos llevaron a la elección con cada cosa en el Universo en la misma situación (incluyendo el estado de nuestro cerebro, puesto que también forma parte del Universo), entonces existe una probabilidad de que eligiéramos de manera distinta en la segunda ocasión. Este resultado es claramente incompatible con el determinismo. Pero, ¿cómo se podría comprobar esta versión definitiva de la libertad? ¿Cómo se podría reconstruir el Universo de una manera idéntica? Si esto es lo que entendemos por libertad, su existencia es un acto de fe.

Quizá libertad quiera decir otra cosa: ¿Imprevisibilidad en el sentido de McKay? Lo que hagamos está determinado por elementos más allá de nuestro control, pero nosotros no podemos

saber, ni tan sólo en principio, qué es lo que vamos a hacer. ¿Es esto suficiente para satisfacer el deseo de libre albedrío?

Otra visión de la libertad es que algunos sucesos (o todos) tienen una causa, pero que los sucesos causados por nosotros no tienen ninguna causa dentro del Universo natural. Más concisamente, nuestras mentes son externas al mundo físico (filosofía dualista), pero, de alguna forma, pueden alcanzarlo e influir en él. Así, en lo que respecta únicamente al mundo físico no se pueden determinar todos los sucesos, ya que la mente no forma parte del mismo. Pero todavía cabe preguntarse por lo que hace decidirse a la mente. Si estas causas tienen su origen en el mundo físico (y claramente algunas lo tienen), entonces volvemos a encontrarnos con el determinismo, de modo que la introducción de una mente no física no es más que un añadido superficial sin contenido. Sin embargo, si alguna de estas causas no son físicas, ¿somos por ello más libres? Si no podemos ejercer ningún control sobre las causas no físicas, entonces no estamos mejor con ellas que con las causas físicas incontroladas. Pero si podemos controlar las causas de nuestras propias decisiones, ¿qué determina nuestro modo de ejercer este control? ¿Más influencias externas (físicas o no), o nosotros? "Hago esto porque me hago hacer a mí mismo hacerme hacer a mí mismo hacerme..." ¿Dónde termina la cadena? ¿Debemos retroceder indefinidamente? ¿Se puede decir que el primer eslabón de la cadena está autocausado, es decir, que no requiere ninguna causa ajena a sí mismo? ¿Tiene algún significado el propio concepto de autocausa (causa sin causa)?

Hasta ahora hemos ignorado el indeterminismo. Algunos físicos afirman que el conflicto entre el determinismo y el libre albedrío está fuera de lugar debido a que, en cualquier caso, el factor cuántico demuestra la invalidez del determinismo. Sin embargo, no hay que precipitarse. Los efectos cuánticos son probablemente demasiado pequeños para ejercer una influencia significativa sobre

el funcionamiento del cerebro en el plano neurológico. Sin embargo, si la tuvieran, en lugar de actuar libremente, nuestro cerebro quedaría bloqueado. Una fluctuación cuántica que forzara a una neurona a activarse cuando normalmente no lo haría (o viceversa), sería una interferencia en el funcionamiento normal de nuestro cerebro. Si se colocan electrodos en nuestro cerebro y se activan al azar mediante una fuente externa, consideraremos esta interferencia como una reducción de nuestra libertad: alguien "ocupa" o al menos obstaculiza el funcionamiento de nuestro cerebro. ¿Cómo pueden ser otra cosa que no sea "ruido" los caprichos cuánticos aleatorios dentro de nuestra cabeza? Decidimos levantar un brazo y las neuronas se activan en la secuencia correcta. Supongamos que una fluctuación cuántica perturbase la señal y en lugar de mover el brazo moviéramos las piernas. ¿Es esto libertad? He aquí el problema fundamental del indeterminismo: nuestras acciones pueden escapar a nuestro control porque no están determinadas, ni por nosotros ni por nada.

Con todo, es difícil resistirse a la impresión de que el factor cuántico ofrece alguna esperanza de libertad. Ciertamente, no deseamos que se interrumpa la secuencia de activaciones neuronales una vez hayan sido iniciadas. Sin embargo, los efectos cuánticos podrían ser importantes en el primer estadio, en el inicio. Imaginemos una neurona lista para activarse de modo que la más ligera perturbación en el nivel atómico la ponga en funcionamiento. La mecánica cuántica afirma que existe una probabilidad definida de que la neurona se active. El resultado es indeterminado. Aquí es donde la mente (o el alma) entra en juego. Dice (subconscientemente): "¡Electrón, muévete a la derecha!" o da alguna otra instrucción y la neurona se activa. Ninguna ley física se viola en esta interpretación de "la mente que actúa sobre la materia", ya que existía una determinada probabilidad de que la neurona se activara

de todos modos. La mente simplemente ha inclinado la balanza para asegurarse de que lo hiciera.

Ahora bien, dejando aparte la falta de pruebas en favor de que el cerebro se encuentre tan delicadamente equilibrado (si lo estuviera, extrañas perturbaciones eléctricas y magnéticas podrían repercutir sobre las intenciones de la mente), esta descripción nos lleva al problema discutido anteriormente, es decir, a la cuestión de qué es lo que hace que la mente ordene al electrón moverse hacia la derecha. También choca con fuertes objeciones por parte de aquellos que rechazan la solución dualista del problema mente-cuerpo, puesto que, según ellos, la mente no es una sustancia capaz de actuar sobre el cuerpo. Si la mente es el software representativo de la estructura electroquímica del cerebro, decir que la mente actúa sobre el cerebro es caer en una confusión de niveles. Tiene tan poco sentido como atribuir la publicación de una novela a uno de sus personajes o decir que el interruptor de un circuito en un computador se activa porque el programa le ha obligado a ello.

Nada de lo anterior capta seriamente la paradoja central de la mecánica cuántica: El papel exclusivo de la mente en la determinación de la realidad. Como hemos visto, el acto de observación hace que la nebulosa superposición de realidades potenciales se reúnan en una única realidad concreta. Un átomo abandonado a su suerte no puede hacer una elección. Tenemos que observarlo antes de que podamos apercibirnos de un resultado particular. El hecho de que podamos elegir entre considerar un "átomo en un lugar" o un "átomo con una velocidad" confirma que, sea cual sea la naturaleza de la mente, de algún modo afecta al mundo físico. Podemos preguntarnos otra vez por qué decidimos medir la posición, por ejemplo, en lugar de la velocidad de un átomo. ¿Es esta libertad para construir la realidad más poderosa que la libertad ya existente de afectar el mundo externo desplazando, por ejemplo, los objetos de nuestro alrededor?

En la actualidad, muchos físicos se inclinan por la llamada interpretación de la teoría cuántica de los múltiples universos de Everett. Este enfoque (discutido brevemente en el capítulo 8) tiene curiosas consecuencias para el libre albedrío. De acuerdo con Everett, cada mundo posible se hace realidad y todos los mundos alternativos coexisten en paralelo. Esta multiplicidad de mundos se extiende a la elección humana. Supongamos que nos enfrentamos a una elección: ¿Té o café? Según la interpretación de Everett, el Universo se divide inmediatamente en dos ramas. En una de las ramas tomamos té y en la otra café. ¡De este modo lo tenemos todo!

La teoría de los múltiples universos parece satisfacer el criterio definitivo para la libertad de elección discutido más arriba. Cuando se produce la división, las circunstancias que conducen a cada resultado son verdaderamente idénticas en todos los aspectos (son de hecho el mismo Universo) aunque se hagan dos elecciones distintas (como dije anteriormente, nadie puede verificar esta teoría, puesto que cualquiera debe quedar restringido a una de las ramas del Universo dividido). Sin embargo, la victoria parece pírrica. Si no podemos evitar hacer todas las elecciones posibles, ¿somos realmente libres? La libertad parece excesiva, destruida por su propio éxito. Queremos elegir té o café, pero no té y café.

Ahora bien, el defensor de los múltiples universos respondería probablemente: "¡Ah!, ¿qué es lo que entiende aquí por nosotros?" El "nosotros" que está tomando el té no es el "nosotros" que está tomando el café. Habitan universos distintos. Estos dos individuos a los cuales nos hemos referido un tanto a la ligera como "nosotros" diferirán, como mínimo, en su experiencia perceptual (por ejemplo, en el sabor de la bebida). No pueden ser la misma persona. Así que, una vez hecha la elección, no tomamos en realidad té y café. Uno de los dos "nosotros" es quien ha hecho la elección. De acuerdo con este punto de vista, decir que hemos preferido té en lugar de café no significa más que dar una definición de "nosotros". Decir "elijo té"

significa simplemente que "soy un bebedor de té". Así, aunque un solo "nosotros" tuvo que enfrentarse a la elección, el resultado afecta a los dos individuos y no a uno solo. En la teoría de Everett, el yo se desdobla continuamente en incontables copias parecidas (sería interesante explorar las consecuencias que esto comporta para el concepto tradicional de un alma única).

Se ha escrito mucho sobre la relación entre el libre albedrío y el tema de la responsabilidad y culpabilidad ante el delito. Si el libre albedrío es una ilusión, ¿por qué debe responder nadie de sus actos? Si todo está determinado, todos nosotros estamos atrapados en un curso de acontecimientos decidido antes de nuestra existencia. En un Universo múltiple de Everett, ¿no podría un delincuente aducir que uno de sus múltiples yo se vio obligado por las leyes de la mecánica cuántica a cometer el crimen? Quizá será mejor apartarnos de este terreno espinoso y preguntarnos sobre la posición de Dios en un Universo determinista. Tan pronto como entra Dios en escena surge una avalancha de enigmas.

¿Puede Dios tomar decisiones y ejercer el libre albedrío?

Si el hombre posee libre albedrío, Dios probablemente lo poseerá también. En este caso, muchos de los problemas anteriores sobre el concepto de libertad se extienden a Dios. Están, además, todas las confusiones habituales asociadas con una deidad infinita y omnipotente. Si Dios tiene un plan para el Universo, plan que implementa como parte de su voluntad, ¿por qué no creó simplemente un Universo determinista en el cual la consecución del objetivo final del plan fuera inevitable? O mejor todavía, ¿por qué no lo creó con este objetivo ya alcanzado? Sin embargo, si el Universo no es determinista, ¿estará limitado el poder de Dios por su incapacidad de predecir o decidir cuál va a ser el resultado?

Se podría quizá aducir que Dios es libre de renunciar a una parte de su poder si así lo desea. Él nos puede dar libertad para actuar en contra de su plan si así lo queremos, puede introducir el

factor cuántico en los átomos para transformar su creación en un juego cósmico de azar. Sin embargo, esto introduce el problema lógico de cómo puede un ente omnipotente renunciar a una parte de su poder.

La libertad asociada a la omnipotencia es bastante distinta de la libertad que disfrutan los seres humanos. Se puede ser libre de elegir té o café siempre y cuando dispongamos de las dos bebidas. No somos libres de hacer cualquier cosa que deseemos: atravesar el Atlántico a nado, por ejemplo, o convertir la Luna en queso. El poder humano es limitado y sólo podemos realizar una pequeña parte de nuestros deseos. Por el contrario, el poder de un Dios omnipotente no tiene límite, y un ser de estas características es libre de obtener todo cuanto desee.

La omnipotencia plantea algunas embarazosas cuestiones teológicas. ¿Tiene Dios libertad para prevenir el mal? Si es omnipotente, la respuesta debe ser afirmativa. ¿Por qué entonces no lo evita? He aquí un argumento devastador debido a David Hume:

Si el mal del mundo se debe a la intención de Dios, entonces Él no es benevolente. Si, en cambio, el mal es contrario a su intención, entonces no es omnipotente. No puede, pues, ser omnipotente y benevolente a la vez como sostienen la mayoría de las religiones.

Una posible réplica a este argumento es que el mal se debe enteramente a las actividades humanas. Dado que Dios nos ha dado libertad, tenemos capacidad de hacer el mal y frustrar así el plan divino. Pero aún podemos decir que si Dios tiene libertad para prevenirnos de hacer el mal, ¿no debe compartir alguna responsabilidad si no hace nada para evitarlo? Cuando un padre permite a un niño travieso cometer tropelías molestando a los vecinos y causando destrozos, le asignamos normalmente gran parte de culpa. ¿Debemos, por tanto, llegar a la conclusión de que el mal

forma parte del plan divino o Dios, después de todo, no tiene libertad para impedirnos actuar contra él?

Nuevos e interesantes enigmas aparecen al considerar la doctrina cristiana según la cual Dios trasciende el tiempo, puesto que el concepto de libertad de elección es intrínsecamente un concepto temporal. ¿Qué significado se debe dar a hacer una elección hecha no en un instante particular sino de un modo atemporal? Por otra parte, si Dios conoce el futuro de antemano, ¿qué significado debemos darle a un plan cósmico y a nuestra participación en él? Un Dios infinito conocerá lo que está sucediendo en todas partes, pero, como hemos visto, no hay un instante presente universal, de modo que el conocimiento de Dios se debe extender en el tiempo si se extiende en el espacio. Por tanto, debemos concluir que no tiene sentido que un Dios cristiano eterno tenga libertad de elección. Pero, ¿es concebible que el hombre posea una facultad de la cual no dispone su creador? Nos vemos forzados a llegar a la paradójica conclusión de que la libertad de elección es, en realidad, una restricción que padecemos, es decir, nuestra incapacidad de conocer el futuro. Dios, liberado de las rejas del presente, no tiene ninguna necesidad de libre albedrío.

Los problemas parecen insuperables. La nueva física abre indudablemente nuevas perspectivas para el antiguo enigma del libre albedrío y el determinismo, pero no lo resuelve. La física cuántica socava el determinismo, pero introduce sus propias dificultades en relación a la libertad, no siendo la menor de ellas la posibilidad de realidades múltiples. La teoría de la relatividad presenta un Universo que se extiende en el tiempo y en el espacio, pero todavía deja la puerta abierta para algún tipo de libertad de acción. Sin ninguna duda, los futuros avances en nuestra comprensión del tiempo arrojarán nueva luz sobre estos problemas fundamentales de nuestra existencia.

XI. LA ESTRUCTURA FUNDAMENTAL DE LA MATERIA

«Dividiendo la materia en unidades cada vez más pequeñas no obtenemos unidades fundamentales o indivisibles, sino que llegamos a un punto en el que hablar de división carece de sentido.»

WERNER HEISENBERG

«Los actuales intentos encaminados a conseguir una teoría del campo unificado son realmente elementales.»

I. M. SINGER

La ciencia es posible porque vivimos en un Universo ordenado: está regulado por leyes matemáticas sencillas. El trabajo del científico consiste en estudiar, catalogar y relacionar el orden de la naturaleza y no en preguntarse por su origen. Los teólogos, sin enojo, mantienen que el orden del mundo físico es una prueba de existencia de Dios. En consecuencia, la ciencia y la religión tienen in común de revelar el trabajo de Dios. Se ha afirmado que la aparición de la cultura científica occidental fue estimulada por la tradición cristiana con su énfasis en la organización divina del Cosmos a organización que puede ser percibida con ayuda de la investigación científica racional). Esta concepción está bien expresada en siguientes líneas de Stephen Hales (1677-1761):

Dado que estamos seguros de que el Creador todopoderoso ha respetado las proporciones más exactas de número, peso y medida al hacer as las cosas, la manera más apropiada de profundizar en la naturaleza de aquellas partes de la creación que entran dentro del campo de nuestra observación deber ser, por esta razón, numerar, pesar y medir.

Parece evidente que el Universo está ordenado. Dondequiera que miremos, desde las distantes galaxias hasta los más recónditos rincones del átomo, distinguimos regularidad y organización. No observamos materia y energía caóticamente distribuidas sino ordenadas en una jerarquía de estructura: átomos y moléculas, cristales, seres vivos, sistemas planetarios, cúmulos estelares, etc. Además, el comportamiento de los sistemas físicos no es fortuito, sino que respeta sistemáticamente unas leyes. Los científicos experimentan frecuentemente un sentimiento de asombro y admiración ante la sutil belleza y elegancia de la naturaleza.

Es conveniente distinguir entre distintas clases de orden. En primer lugar, existe el orden de la simplicidad, que se observa, por ejemplo, en las regularidades del sistema solar o las oscilaciones

periódicas de un péndulo. Por otro lado, existe el orden de la complejidad, como en la disposición de los gases en la atmósfera turbulenta de Júpiter o la compleja organización de una criatura viva. Esta distinción es otro ejemplo de reduccionismo frente a holismo. El reduccionismo busca descubrir elementos simples en estructuras complejas, mientras que el holismo dirige su atención hacia la complejidad como un todo. El orden de la complejidad sugiere a muchos un elemento de planificación, gracias al cual todas las partes componentes de un sistema encajan armónicamente, cooperando para alcanzar algún objetivo particular. En este capítulo consideraremos el orden de la simplicidad y veremos que descubrimientos recientes en el campo de la física fundamental confirman que las regularidades matemáticas controlan los procesos vitales de la naturaleza. En el capítulo siguiente exploraremos el orden de la complejidad.

Según Kant, la mente humana impone inevitablemente orden en el mundo a fin de darle sentido, pero no creo que muchos científicos se sientan impresionados por esta afirmación. Kant no sabía nada de la estructura nuclear o atómica. El estudio del átomo reveló el mismo tipo de regularidades matemáticas que se dan en la organización del sistema solar. Éste es seguramente un hecho sorprendente y no tiene nada que ver con el camino que elijamos para percibir el mundo. Además, veremos que la materia subnuclear está sujeta a unos poderosos principios de simetría. Es difícil aceptar que, por ejemplo, la simetría izquierda-derecha que aparece en el funcionamiento de algunas de las fuerzas fundamentales no sea más que un tributo a la ordenada naturaleza de la mente humana.

El orden de la simplicidad en la naturaleza ha sido puesto de manifiesto tradicionalmente mediante el procedimiento científico reduccionista de descomponer los sistemas complejos en sus partes componentes más simples y estudiarlos aisladamente. La idea de que toda la materia está formada a partir de un pequeño número de

unidades básicas (los "átomos" originales) se remonta a la Grecia clásica, pero sólo en nuestro siglo la tecnología ha avanzado lo suficiente para que los procesos atómicos pudieran ser estudiados y entendidos con detalle. Uno de los primeros descubrimientos, debido principalmente al trabajo de lord Rutherford a principios de este siglo, fue que los átomos no son en absoluto partículas elementales, sino estructuras compuestas con partes internas. La mayor parte de la masa atómica está concentrada en un núcleo diminuto de tan sólo una billonésima de centímetro. El núcleo está rodeado de una nube de partículas ligeras (los electrones) que se extienden hasta una distancia del orden de una cienmillonésima de centímetro. Por tanto, la mayor parte del átomo es espacio vacío. Si a esto se añade que el factor cuántico impide que los electrones sigan ciertas trayectorias orbitales, la imagen de este ente que llamamos átomo va adquiriendo cada vez más un carácter insustancial y nebuloso.

Los electrones están ligados al núcleo mediante fuerzas eléctricas. El núcleo tiene carga positiva y está rodeado por un campo eléctrico que captura a los electrones negativamente cargados. Hace ya bastante tiempo que se descubrió que el núcleo es, a su vez, un cuerpo compuesto de dos tipos de partículas: los protones, que transportan la carga positiva, y unas partículas eléctricamente neutras, llamadas neutrones. Los protones y los neutrones tienen una masa unas 1.800 veces mayor que la de los electrones.

Una vez descubierta esta arquitectura básica, los físicos aplicaron la mecánica cuántica al átomo y pusieron de manifiesto una notable forma de armonía. La naturaleza esencialmente ondulatoria de los electrones se manifiesta por la existencia de ciertos "estados estacionarios" o "niveles de energía" en los que reside el electrón. Las transiciones entre niveles solamente están permitidas si se absorbe o emite energía en forma de fotones

(paquetes de energía luminosa). La existencia de estos paquetes, por tanto, se manifiesta en la energía de la luz, que se puede deducir a partir de su frecuencia (color). El análisis de la luz emitida o absorbida por los átomos revela, por consiguiente, un espectro de colores con una serie de frecuencias discretas o líneas espectrales. El átomo de hidrógeno, constituido por un protón (el núcleo) y un electrón, es el átomo más simple. Sus niveles de energía vienen dados por una sencilla fórmula:

$1/n^2$ $1/n^3$ Lo correcto es: 1/n 2-1/m 3

Multiplicado por una unidad fija de energía, donde n y m son números enteros positivos (1, 2, 3...). Estas expresiones aritméticas tan compactas recuerdan las relaciones numéricas sencillas que describen los tonos musicales (los armónicos de la cuerda de una guitarra o del tubo de un órgano, por ejemplo). No se trata de una coincidencia. La disposición de los niveles de energía en un átomo es una consecuencia de las vibraciones de la onda cuántica, del mismo modo que las frecuencias del sonido de un instrumento musical son consecuencia de las vibraciones de las ondas sonoras.

Ahora bien, la armonía atómica no sería tan elegante si no fuera por el hecho que la fuerza que liga al electrón con el protón en el átomo de hidrógeno tiene también una expresión matemática sencilla. De hecho, la propia existencia de los átomos depende de ella. Esta atracción eléctrica satisface una famosa ley de la física conocida como la ley del inverso del cuadrado de la distancia. Quiere decir que si la separación entre el electrón y el protón se duplica, la fuerza se reduce una cuarta parte. Si se triplica, la fuerza se reduce una novena parte, etc. Es una nítida regularidad matemática que encontramos también en la fuerza de la gravedad: por ejemplo, en la atracción entre los planetas y el Sol. En este caso, la ley del inverso del cuadrado de la distancia da lugar a las famosas

regularidades que se observan en el sistema solar, expresadas matemáticamente en las fórmulas que predicen los eclipses y otros fenómenos celestes. En el caso atómico, las regularidades son de naturaleza cuántica: la disposición de los niveles de energía y el espectro de frecuencias de la luz emitida. Sin embargo, ambas se derivan de la simplicidad de la ley del inverso del cuadrado de la distancia.

Tan pronto como se puso de manifiesto la estructura del núcleo, los físicos empezaron a preguntarse sobre las fuerzas nucleares que mantienen su cohesión. La gravedad es demasiado débil y las fuerzas eléctricas son repulsivas entre cargas del mismo signo. Se ignoraba cómo lograban evitar los protones, cada uno con su carga positiva, su repulsión mutua. Era evidente que debía existir una fuerza de atracción intensa que superase la repulsión eléctrica. Los experimentos revelaron que esta fuerza nuclear es mucho más intensa que la fuerza eléctrica, y que deja de actuar súbitamente más allá de una cierta distancia del protón. Este alcance es muy corto (menor que el tamaño del núcleo), de modo que sólo las partículas vecinas más próximas pueden encontrarse dentro del radio de acción de esta fuerza. Tanto los protones como los neutrones experimentan la fuerza nuclear. Dado que esta fuerza es tan intensa, se requieren grandes cantidades de energía para romper la mayoría de núcleos, pero puede hacerse. Los núcleos pesados son menos estables y pueden fisionarse (escindirse) fácilmente liberando energía (energía de fisión nuclear).

Las partículas nucleares se encuentran dispuestas también en niveles cuánticos de energía discretos, aunque aquí la simplicidad de la armonía atómica brilla por su ausencia. El núcleo es una estructura complicada, no solamente a causa de la multiplicidad de partículas, sino también debido a que la fuerza nuclear no es de la forma del inverso del cuadrado de la distancia.

Cuando, en los años treinta, los físicos empezaron a estudiar la fuerza nuclear en el contexto de la física cuántica, se hizo evidente que la naturaleza de la fuerza es inseparable de la estructura de las partículas. En la experiencia diaria pensamos en materia y fuerza como conceptos claramente diferenciados. Las fuerzas pueden actuar entre los cuerpos materiales a través de los efectos gravitatorios o electromagnéticos o directamente mediante el contacto físico, pero sólo se considera a la materia como la fuente de la fuerza y no como su agente de transmisión. Así, el Sol ejerce una acción gravitacional sobre la Tierra a través del espacio vacío y esto se puede describir en el lenguaje de los campos: el campo gravitacional del Sol, que es, por otro lado, invisible e intangible, interactúa con la Tierra y ejerce una fuerza sobre ella.

En el dominio subatómico, donde los efectos cuánticos son importantes, el lenguaje y el nivel de descripción empleados cambian profundamente. La característica fundamental de la mecánica cuántica es que la energía se transmite en paquetes discretos o cuantos, lo cual da nombre a la teoría. Así, por ejemplo, los fotones son cuantos del campo electromagnético. Cuando dos partículas eléctricas se aproximan, caen bajo la influencia de sus campos electromagnéticos mutuos y actúan fuerzas entre ellas. Estas fuerzas ocasionan que las partículas se desvíen de sus trayectorias. La perturbación que una partícula ejerce sobre la otra se transmite en forma de fotones. Por tanto, la interacción entre partículas cargadas se concibe más que como un proceso continuo como un súbito impulso debido a la transferencia de uno o más fotones.

Es útil representar estos procesos mediante unos diagramas inventados por Richard Feynman. La figura 23 muestra un fotón que está siendo transferido entre dos electrones, a consecuencia de lo cual éstos se dispersan. Este mecanismo de interacción se puede comparar a dos jugadores de tenis cuyo comportamiento está ligado a través del intercambio de la pelota. Los fotones actúan en cierto

modo como mensajeros que van de un lado a otro entre las partículas cargadas, diciendo a cada una dónde se encuentra la otra e induciendo una respuesta. Usando estas ideas, los físicos pueden calcular los efectos de muchos procesos electromagnéticos en el plano atómico. En todos los casos, los resultados experimentales concuerdan con las predicciones calculadas con una exactitud sorprendente.

La teoría cuántica del campo electromagnético tuvo tanto éxito que los físicos decidieron aplicarla también al caso de la fuerza nuclear. De ello se ocupó el físico japonés Hideki Yukawa, quien descubrió que la fuerza que actúa entre los protones y los neutrones podía efectivamente interpretarse como un intercambio de cuantos mensajeros, aunque de una naturaleza bastante distinta de la de los familiares fotones. Para reproducir los efectos de una fuerza de muy corto alcance, los cuantos de Yukawa debían tener masa.

Éste es un punto sutil pero importante. La masa de una partícula es una medida de su inercia o resistencia a cambiar de velocidad. Una fuerza dada mueve más fácilmente una partícula ligera que una más pesada. Si una partícula es sumamente ligera, será acelerada más fácilmente por cualquier tipo de fuerza y tenderá, por tanto, a desplazarse muy rápidamente. En el caso límite de que la masa se reduzca a cero, la partícula se desplazará siempre a la mayor velocidad posible, que es la velocidad de la luz. Éste es el caso de los fotones, partículas sin masa en reposo. Por otro lado, los cuantos de Yukawa tienen masa y viajan más despacio que la luz. Yukawa los llamó mesones, pero en la actualidad se conocen como piones.

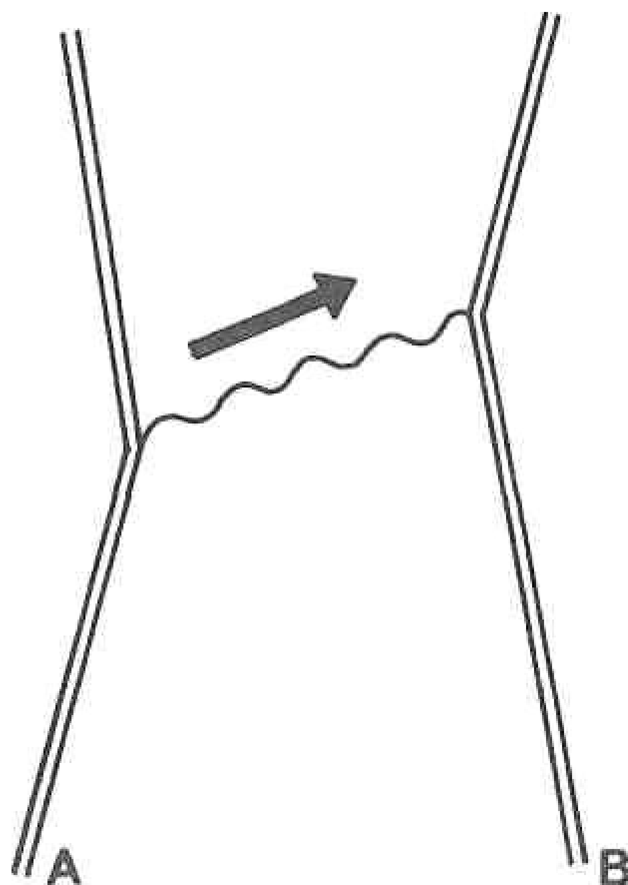


Fig. 23. En el mundo cuántico, las fuerzas electromagnéticas que actúan entre partículas cargadas, A y B, se describen en términos de Intercambio de fotones. La trayectoria de la partícula A cambia cuando emite un fotón. Más tarde, B se desviará al absorberlo. Así, pues, las fuerzas entre partículas se transmiten por otras partículas (en este caso fotones). De todos modos, esta descripción es muy simplificada. En la transmisión real intervienen un buen número de partículas de corta vida (o "virtuales") que viajan en las dos direcciones y otras que zumban alrededor de A y de B individualmente. Las otras fuerzas fundamentales de la naturaleza admiten descripciones semejantes. Los diagramas son representaciones simbólicas de términos matemáticos abstractos que permiten calcular los procesos subatómicos con mucha precisión.

Dentro del núcleo, los piones se mueven de un lado a otro entre los neutrones y protones manteniéndolos unidos con la fuerza nuclear. Normalmente son invisibles ya que, en cuanto son creados, son absorbidos de nuevo por otra partícula nuclear. Sin embargo, si

se suministra energía al sistema, se puede extraer un pión para estudiarlo aisladamente. Esto sucede cuando dos protones chocan a altas velocidades (un proceso mencionado brevemente en el capítulo 3). El descubrimiento de los piones poco después de la Segunda Guerra Mundial constituyó una brillante verificación de la teoría de Yukawa y fue acogido como un triunfo de la física teórica en general y de la mecánica cuántica en particular. Otra característica distintiva de los piones es que son tremendamente inestables y se desintegran casi instantáneamente en partículas más ligeras. Uno de los productos de su desintegración, el muón, es idéntico al electrón en todos los aspectos excepto en la masa. Es considerablemente más pesado que el electrón y también se desintegra rápidamente.

Una vez que los físicos se apercibieron de que podían conseguir nuevos fragmentos de materia provocando colisiones entre partículas subatómicas a altas velocidades, empezaron a construir enormes máquinas aceleradoras. Estas máquinas son capaces de acelerar todo tipo de fragmentos subatómicos hasta velocidades muy próximas a la de la luz, y los destellos observados en las colisiones entre partículas aceleradas ponen de manifiesto todo un mundo nuevo de actividad nuclear. Con la ayuda de estas máquinas se descubrieron docenas de partículas nuevas e insospechadas. Las recién llegadas eran tan prolíficas que los físicos rápidamente agotaron los nombres para designarlas. Por un momento, las diferentes especies de partículas se asemejaban a un zoológico desorganizado. Poco a poco, el desconcierto de los físicos fue aminorando cuando empezaron a entrever algún tipo de orden entre los residuos nucleares.

Desde los años treinta se sabe que no existe una sola fuerza nuclear, sino dos. La fuerza fuerte mantiene unidas a las partículas nucleares, pero existe otra fuerza mucho más débil. La fuerza débil es la responsable de que algunas partículas inestables se desintegren: por ejemplo, los piones y los muones se desintegran a

causa de la fuerza débil. Algunas partículas experimentan ambas fuerzas, pero otras no experimentan la fuerza fuerte. Estas últimas partículas tienden a ser muy ligeras. Entre ellas se encuentran los muones, los electrones y los neutrinos. Hay al menos dos variedades de neutrinos, posiblemente los objetos más esquivos que conoce la ciencia. Interactúan tan débilmente con la materia que podrían atravesar placas de plomo de varios años luz de espesor.

Las partículas ligeras que interactúan débilmente reciben el nombre genérico de leptones. Los leptones cargados, tales como los electrones, sufren tanto la fuerza débil como la electromagnética, pero los neutrinos no se ven afectados por el electromagnetismo. Las partículas más pesadas, que interactúan fuertemente, se llaman hadrones y se dividen en dos familias. En una familia se encuentran los protones y los neutrones, junto con partículas más pesadas que se desintegran en ellos. Es la familia de los bariones. El resto lo constituyen los mesones, entre los que se encuentran los piones.

En ambas familias se pueden distinguir muchos subgrupos. Los miembros de cada subgrupo poseen propiedades tales como la masa, la carga eléctrica y otras cualidades técnicas que varían sistemáticamente de un miembro a otro. En los años sesenta se vio que estas propiedades sistemáticas podían representarse de una manera muy elegante con la ayuda de una disciplina matemática conocida como teoría de grupos. El principio que subyace a esta teoría es el concepto de simetría. No sería equivocado decir que una vez que nació la nueva era de la simetría subatómica los físicos no han vuelto a mirar atrás.

Siempre se ha considerado que la simetría juega un papel vital en la organización del mundo natural. Ejemplos tales como la forma esférica del Sol o la regularidad de un copo de nieve o de un cristal son familiares a todos. No todas las simetrías, sin embargo, son de tipo geométrico. La simetría entre hombre y mujer o entre carga eléctrica positiva y negativa son también conceptos útiles, aunque

las simetrías tomen un forma más abstracta. Así, entre las colecciones de bariones y mesones se descubrieron también simetrías abstractas que sugirieron que los miembros de cualquier grupo particular se encuentran estrechamente relacionados mediante un esquema matemático sencillo. Podemos apreciar estas ideas trazando una analogía con las simetrías geométricas. Todos sabemos que en un espejo la mano izquierda se refleja en la mano derecha. Las manos izquierda y derecha forman un sistema simétrico de dos componentes. Una sucesión de dos reflexiones vuelve a transportarnos a la situación original. En cierto sentido, un protón y un neutrón se pueden comparar con las manos derecha e izquierda. Bajo la "reflexión", un neutrón se convierte en un protón o viceversa. Esta reflexión no es, sin duda, una reflexión ordinaria en un espacio real, sino que es una reflexión abstracta en el espacio imaginario conocido técnicamente como el espacio de spin isotópico. Aunque la simetría sea abstracta, su descripción matemática es idéntica a una simetría geométrica y su acción es real. Se manifiesta en las propiedades de los protones y neutrones, en los experimentos de dispersión y en su modo de llamar la atención de otras partículas.

Otros grupos de simetría más complejos permiten la descripción unificada de familias de partículas más numerosas que la del protón y el neutrón. Algunas de estas familias poseen ocho, diez o más partículas. Ocasionalmente, algunas simetrías no son aparentes de inmediato ya que están enmascaradas por efectos complicados. Sin embargo, el esfuerzo combinado del análisis matemático y la experimentación cuidadosa las pone al descubierto.

Pocos físicos dejan de sentirse atraídos por la sutil elegancia con que estas abstractas simetrías explican el funcionamiento interno de la materia. La investigación subnuclear se basa en la creencia obstinada de que en el centro de toda la complejidad natural se encuentra la simplicidad. Yuval Ne'eman y Murray Gell-Mann, que

fueron los primeros en descubrir las simetrías ocultas en una colección de ocho mesones, bautizaron su nuevo principio "El Camino Óctuplo", expresión extraída de un texto de Buda.

A medida que se iban revelando más simetrías; los físicos se sentían más profundamente impresionados por estas sutiles regularidades (regularidades que habían permanecido secretas, enterradas en las profundidades del átomo desde tiempos inmemoriales). Ahora, por primera vez, eran observadas por seres humanos con la ayuda de instrumentos de avanzada tecnología.

No transcurrió mucho tiempo sin que los físicos se preguntaran por el significado de estas simetrías: "Parecía como si la naturaleza intentara decirnos algo", señaló un destacado físico teórico. En este momento, el poder de las matemáticas volvió a aflorar a la superficie. La teoría de grupos permitió encontrar un origen natural a todas las simetrías familiares en términos de una única simetría fundamental. Las simetrías superiores podían construirse a partir de combinaciones de otras más sencillas. Traducido al lenguaje de partículas: los hadrones no eran en absoluto fundamentales, sino que estaban compuestos de partículas mucho más pequeñas.

¡Más complicado de lo que parecía! Los átomos están hechos de núcleos y electrones; los núcleos están hechos de protones y neutrones; los protones y neutrones están hechos de... (?). Los nuevos bloques estructurales, tres niveles por debajo de los átomos, requerían un nombre. Gell-Mann acuñó la palabra quark, que se ha mantenido hasta nuestros días. Los hadrones están hechos de quarks. El ancestral principio de los griegos según el que toda la materia está construida a partir de un pequeño número de partículas verdaderamente elementales (sus átomos) ha seguido un tortuoso camino hasta nuestros días. ¿Se acaba aquí la historia o son también los quarks objetos compuestos?

Los quarks se mantienen unidos en dos configuraciones: dobletes y tripletes. La unión de dos quarks constituye un mesón, la de tres quarks un barión. Los quarks también residen en niveles de energía cuánticos y suministrándoles energía pueden ser excitados a niveles superiores. Los hadrones excitados se parecen a los otros hadrones; así, muchas partículas que se pensaba que eran distintas se consideran en la actualidad estados excitados de una única combinación de quarks.

Para dar razón de todos los hadrones conocidos es necesario suponer que existe más de un tipo de quark. A principios de los años setenta se conocían tres "sabores" de quarks, como fueron llamados frívolamente: "arriba" (up), "abajo" (down) y "extraño" (strange). A continuación aparecieron más hadrones y un cuarto quark se añadió a la lista: el quark con "encanto" (charm). Recientemente han aparecido todavía más partículas y parece que se necesitan otros dos quarks, el quark t (top) y el quark b (bottom) (todavía no se tiene confirmación experimental de la existencia del primero). El éxito del modelo de los quarks es impresionante. Una enorme variedad de procesos de partículas se pueden entender en la actualidad de una manera sistemática recurriendo a cálculos detallados con los quarks.

La hipótesis subyacente a la teoría de los quarks es que carecen de estructura, es decir, se trata de partículas fundamentales puntuales, sin partes internas. En este aspecto son como los leptones, que no constan de quarks sino que parecen ser fundamentales por derecho propio. De hecho, existe una correspondencia biunívoca natural entre los quarks y los leptones que proporciona una curiosa visión del funcionamiento de la naturaleza. El vínculo se representa esquemáticamente en la tabla 1. En la columna de la derecha están los sabores de quarks y en la de la izquierda están todos los leptones conocidos. Recuérdese que los leptones experimentan la fuerza débil y que los quarks

experimentan la fuerza fuerte. Otra diferencia es que los leptones o bien no tienen carga eléctrica o bien tienen carga eléctrica unidad, mientras que los quarks tienen un carga de o bien 1/3 ó bien 2/3.

A pesar de estas diferencias, existen simetrías neutrino. Curiosamente, toda la materia ordinaria está hecha solamente de estas cuatro partículas. Los protones y los neutrones están hechos de quarks u y d unidos en tripletes, mientras que los electrones constituyen la otra única partícula subatómica restante que se necesita. Los neutrinos se pierden en el Universo y no juegan ningún papel importante en la estructura a gran escala de la materia.

Tabla 1

	Leptones		**Quarks**	
	Nombre	*Carga*	*Nombre*	*Carga*
I	electrón (e)	−1	arriba (*u*)	+2/3
	neutrino electrónico (ν_e)	0	abajo (*d*)	−1/3
II	muón (μ)	−1	extraño (*s*)	−1/3
	neutrino muónico (ν_μ)	0	encantado (*c*)	+2/3
III	partícula tau (τ)	−1	*t*	+2/3
	neutrino tauónico (ν_τ)	0	*b*	−2/3
	?	?	?	?

Las partículas subatómicas pueden dividirse en leptones y quarks. Los quarks no se encuentran individualizados, sino que están unidos en grupos de dos o tres y tienen una carga eléctrica fraccionaria. Curiosamente, toda la materia ordinaria está hecha solamente de cuatro partículas (nivel I). Los niveles II y III parecen ser simples "réplicas" del nivel I; las partículas de estos últimos niveles son altamente inestables. Es posible que en un futuro se descubran más niveles. En este recuadro se han omitido las partículas "mensajeras": los protones, los gravitones y los gluones, y los mediadores de la fuerza nuclear débil, conocidos por W y Z.

Por lo que sabemos, si todas las demás partículas dejaran de existir de repente, el Universo se vería muy poco modificado.
El segundo nivel de partículas parece ser un simple duplicado del primero, excepto que las partículas son un poco más pesadas. Sin embargo, todas menos el neutrino son muy inestables y las diversas partículas a que dan lugar se desintegran rápidamente en partículas de nivel I. Lo mismo vale para el tercer nivel.

La pregunta obligada es: ¿Para qué están estos otros niveles? ¿Por qué los necesita la naturaleza? ¿Qué papel juegan en la modelación del Universo? ¿No son más que un exceso de equipaje, o encajan en algún rompecabezas misterioso y tan sólo confusamente percibido? Y más perturbador aún, ¿hay solamente tres niveles, o el futuro podemos esperar más, quizá una serie infinita, a medida que se disponga de aceleradores de mayor energía?

Nuestro asombro se hace más profundo a causa de otra complicación. Para evitar conflictos con otro principio fundamental de la mecánica cuántica (el llamado principio de exclusión de Pauli) se debe suponer que cada sabor se puede presentar en realidad en tres formas distintas conocidas como "colores". Todo quark debe ser considerado como una especie de superposición multicolor (hablando figuradamente) que emite continuamente destellos "rojos", "verdes" y "azules". De nuevo parecemos encontrarnos en un zoo. Pero las simetrías vuelven en nuestra ayuda, esta vez en una forma todavía más profunda y sutil denominada, con bastante buen criterio, supersimetría.

Para entender la supersimetría necesitamos considerar la otra faceta de este análisis, es decir, las fuerzas. Sea cual fuere el grado de complejidad del zoo de partículas, parece que existen solamente cuatro tipos básicos de fuerzas: la gravedad y el electromagnetismo, familiares a nuestra experiencia diaria, y las fuerzas nucleares débil y fuerte. La fuerza fuerte que actúa entre protones y neutrones no puede, desde luego, ser fundamental, ya que estas partículas son

compuestas y no elementales. Cuando dos protones se atraen, lo que vemos es el efecto combinado de la interacción de seis quarks. La fuerza fundamental es la que actúa entre los quarks. Es posible describir la fuerza que actúa entre los quarks estableciendo una analogía con el campo electromagnético en la que el color juega el papel de la carga eléctrica. El equivalente de fotón es el denominado gluón, cuya misión es mantener unidos a los quarks desplazándose continuamente de uno a otro al modo de los "mensajeros" ya descritos. En analogía con la electrodinámica, los físicos se refieren a esta teoría de campos de fuerzas generados por el color como cromodinámica. Los procesos cromáticos son mucho más complicados que sus equivalentes electromagnéticos por dos razones. La primera es que existen tres colores frente a un solo tipo de carga eléctrica. Esto da lugar a un total de ocho tipos distintos de gluones comparados con una sola clase de fotones. La segunda razón es que los gluones también tienen color y por tanto interactúan fuertemente con los demás, mientras que los fotones no tienen carga y, por tanto, ignoran a los demás fotones.

Hace veinte años, unos físicos perspicaces pensaron que cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza eran demasiadas, de modo que quizá no fueran verdaderamente independientes. Maxwell ya había ofrecido alrededor de 1860 una descripción matemática que unificaba la electricidad y el magnetismo en una única teoría del electromagnetismo. ¿Por qué no era posible una síntesis superior? ímpetus renovados en apoyo de esta idea vinieron de una clase de rompecabezas matemáticos que se negaban obstinadamente a ser resueltos. Siempre que la teoría cuántica de campos se aplicaba a cualquier cosa que no fueran los procesos más simples, aparecían resultados infinitos y, por tanto, sin valor alguno. En el caso del campo electromagnético, un sutil malabarismo matemático permitía evitar los infinitos de la teoría en todos los procesos electromagnéticos concebibles y conservar su poder predictivo. Sin

embargo, la misma estratagema no funcionaba en el caso de las otras fuerzas. Se esperaba que combinando la fuerza electromagnética con las otras tres fuerzas en un único esquema descriptivo, su comportamiento matemático se transmitiría, de algún modo, a las demás fuerzas, consiguiéndose de esta forma una formulación razonable.

El primer paso hacia este ambicioso objetivo fue dado por Steven Weinberg y Abdus Salam, en 1967. Consiguieron expresar la fuerza electromagnética y la fuerza nuclear débil de tal modo que las dos fuerzas recibían una descripción matemática integrada. Su teoría reveló que la razón de que percibamos como distintas la fuerza electromagnética y la fuerza débil (marcadamente diferentes en sus propiedades) se encuentra en las bajas energías que entran en juego en nuestros experimentos usuales. Desde luego, "bajas" aquí tiene un sentido relativo: las máquinas aceleradoras actuales suministran una energía de tal magnitud que si en lugar de protones se aceleraran bolas de billar a velocidades semejantes, la energía liberada en la colisión satisfaría las necesidades eléctricas de un hogar medio durante millones de años. Lo que ocurre es que la unidad de energía en la teoría de Weinberg-Salam tiene un valor tan grande que está fuera del alcance de la tecnología actual; de ahí que el término "baja energía" sea adecuado.

Durante los años setenta se empezaron a acumular pruebas experimentales en apoyo de la teoría de Weinberg-Salam, quienes fueron galardonados con el Premio Nóbel en 1980. En 1971 se demostró que, tal como se esperaba, en la unificación se podían obviar los infinitos, y los físicos empezaron a hablar de tres, en vez de cuatro, fuerzas fundamentales de la naturaleza.

Una parte muy importante de este éxito se debe a la aparición en la teoría de la unificación de otros grupos de simetría abstracta. Durante mucho tiempo se había apreciado que la maravillosa teoría electromagnética de Maxwell debía casi toda su potencia y elegancia

al equilibrio y simetría subyacentes a su descripción matemática. También aquí, la simetría, conocida como de gauge, es de un tipo abstracto aunque se puede ilustrar en términos más prosaicos.

Podemos ilustrar las simetrías de gauge con el ejemplo de una ascensión a un acantilado. Para escalar desde la base hasta la cima es necesario consumir energía. ¿Cuál es la estrategia más eficiente: escalar verticalmente por el camino más corto o tomar el camino más largo aunque de mucha menor pendiente? (ver fig. 24). La respuesta es que ambos caminos requieren la misma energía (despreciando complicaciones secundarias como el rozamiento). De hecho, se puede demostrar fácilmente que la energía necesaria para ascender hasta la cima del acantilado es completamente independiente del camino elegido. Ésta es una simetría de gauge.

Este ejemplo hace referencia a una simetría de gauge del campo gravitatorio, puesto que se debe luchar contra la fuerza de la gravedad para llegar hasta la cima del acantilado. Una simetría idéntica se da en los campos eléctricos y otra similar, aunque quizá más complicada, en los campos magnéticos.

Resulta que la simetría de gauge del campo electromagnético, está relacionada íntimamente con la masa nula del fotón. Éste constituye el punto crucial de la teoría que permite eludir los desastrosos infinitos. Apelando a una simetría de gauge más compleja en su teoría de unificación, Weinberg y Salam fueron capaces de someter la fuerza débil y casarla con el electromagnetismo.

A continuación, estimulados por el éxito de las teorías de gauge, los físicos dirigieron su atención hacia la otra fuerza nuclear, la fuerza cromodinámica que actúa entre los quarks. Pronto se inventó una teoría de gauge del color en cuyo marco se realizaron algunos intentos para unificar la fuerza débil con la fuerza del color en una "teoría de gran unificación" (T. G. U.). Todavía es pronto para valorar el éxito de la T. G. U., aunque al menos una de sus

predicciones (que los protones pueden ser débilmente inestables y desintegrarse espontáneamente al cabo de un tiempo inmenso) se está poniendo a prueba.

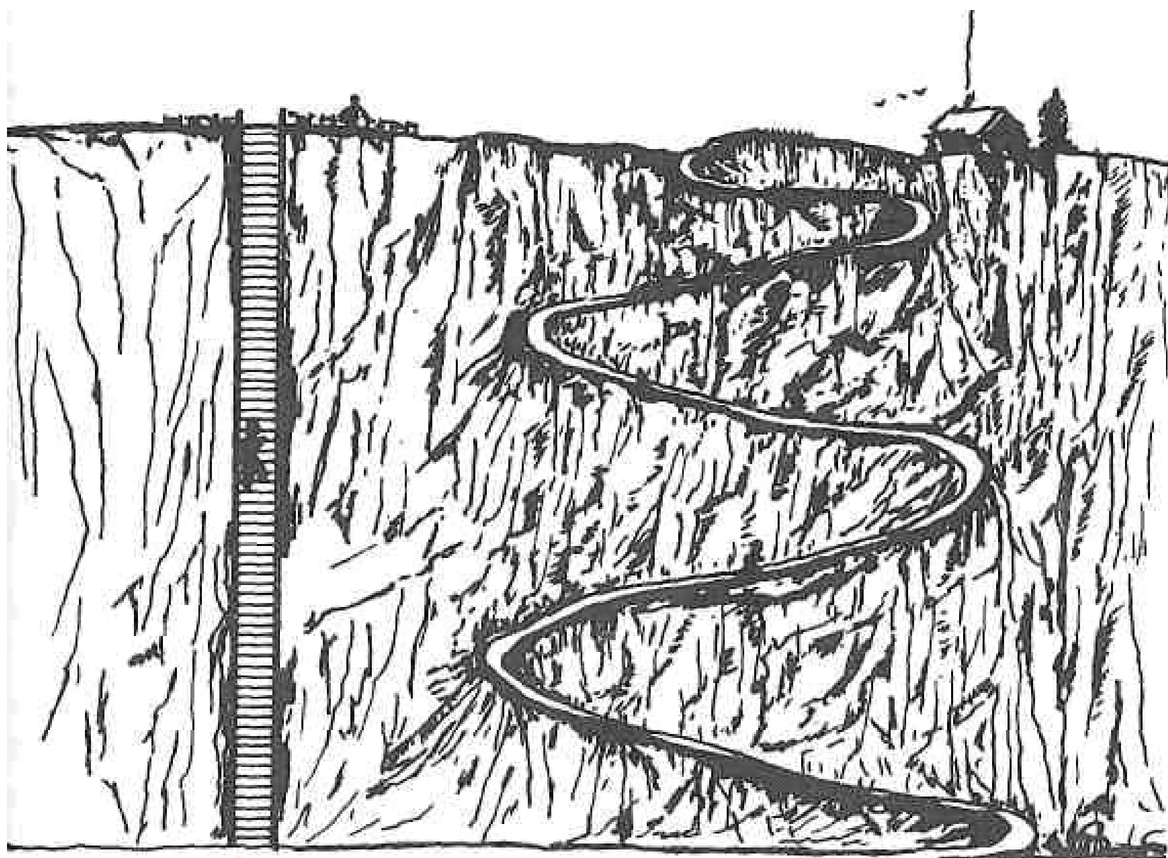


Fig. 24. La ascensión a un acantilado ilustra el concepto abstracto de "simetría de gauge. La energía total necesaria para alcanzar la cima del acantilado es la misma tanto si ascendemos por el camino vertical, corto y cansado, como por la carretera zigzagueante, larga y placentera. Esto es un reflejo de una profunda y potente simetría del campo gravitacional. En recientes formulaciones matemáticas de las teorías de campo unificado se han explotado simetrías semejantes, si bien mucho más complejas, de otros campos de fuerza de la naturaleza.

Todavía nos queda la gravedad. Las dificultades con los infinitos la asolan constantemente y la opinión más general es que solamente se podrán resolver estos problemas en el marco de alguna teoría de superunificación que contenga una supersimetría. Ésta es

una de las líneas de investigación de vanguardia en la física teórica. La teoría tiene como objetivo el sueño de lograr una teoría de campo unificado (un único campo de fuerzas que englobe todas las fuerzas de la naturaleza: gravedad, magnetismo y las dos fuerzas nucleares). Pero no es esto todo. La conexión fundamental entre las partículas cuánticas y las fuerzas que actúan entre ellas implica que cualquier teoría de las fuerzas debe ser también una teoría de las partículas. En consecuencia, una teoría de superunificación debe proporcionar una descripción completa de los quarks y los leptones y explicar por qué hay tres niveles en la tabla 1.

Se dice a veces que la consecución de este éxito sin precedentes representaría la culminación de la física fundamental, puesto que una teoría de estas características sería capaz de explicar el comportamiento y la estructura de toda la materia (en un sentido reduccionista, desde luego). Nos permitiría escribir todos los secretos de la naturaleza en una única ecuación, una especie de fórmula maestra para el Universo. Un logro tal confirmaría la arraigada creencia de que el Universo se mueve según un único, sencillo y elegante principio matemático. La ilusión de los físicos por lograr este objetivo definitivo la ha expresado John Wheeler en los siguientes términos: «Algún día se abrirá una puerta que mostrará el reluciente mecanismo central del mundo en toda su belleza y simplicidad.»

¿Estamos muy lejos de alcanzar este "Nirvana" intelectual? Los teóricos depositan sus esperanzas en un conjunto de teorías que se engloban bajo el nombre de supergravedad. Su característica esencial es un extraordinario tipo de supersimetría descrita crípticamente como la raíz cuadrada del espacio-tiempo. Esto quiere decir que si se multiplican dos operaciones supersimétricas se obtiene una operación de simetría geométrica ordinaria, como una traslación en el espacio.

A primera vista, esta abstracción no parece muy prometedora, pero si se analiza más cuidadosamente se descubre que la supersimetría está íntimamente relacionada con uno de los atributos más fundamentales de una partícula: su spin. Sucede que los quarks y los leptones giran de un modo bastante enigmático, aunque ahora no nos importan los detalles. Lo que sí nos importa es que las partículas "mensajeras" (los gluones, los fotones y sus correspondientes réplicas para la gravedad y la fuerza débil) o bien no giran o bien lo hacen de una manera normal y nada enigmática. La importancia de la supersimetría es que relaciona las partículas que giran enigmáticamente con las demás, del mismo modo que la simetría de spin isotópico relacionó los protones con los neutrones. Así, una operación de supersimetría puede transformar una partícula que gira en una que no gira. Desde luego, estas "operaciones" se refieren a procedimientos matemáticos. En realidad es tan imposible transformar una partícula que gira en una que no gira como transformar una mano izquierda en una derecha.

En una teoría de la gravedad de corte supersimétrico, la partícula mensajera gravitacional (conocida como gravitón) adquiere compañeras (llamadas gravitinos) que poseen el mismo extraño tipo de spin, y también otras partículas. El modo de aparición de esta multiplicidad de partículas en la teoría es un fuerte indicio de que los temidos infinitos han sido eliminados. Hasta la fecha, todos los cálculos efectuados según la teoría han dado resultados finitos.

En la versión más prometedora de la supergravedad la superfamilia consta de no menos de setenta partículas. Muchas de estas partículas pueden identificarse con partículas conocidas en el mundo real. Otras corresponden a partículas que todavía no se han descubierto. Sin embargo, no está claro si pueden existir más partículas (hasta ahora supuestamente elementales) que las que esta teoría particular puede acomodar. Algunos teóricos creen que hay

demasiados quarks y que ya es hora de explorar más profundamente y ver si estas partículas no constan a su vez de unidades todavía más pequeñas. Uno de los argumentos en contra de un nivel de estructura inferior es que los quarks habitan ya un mundo 1015 veces más pequeño que el núcleo atómico y que a distancias poco menores la propia noción del espacio pierde todo su significado. Según la teoría, los efectos cuánticos de la gravedad hacen que el espacio-tiempo se escinda en una estructura esponjosa en una escala de longitud 1020 veces menor que el núcleo. En este punto, hablar de cosas "dentro" de otras cosas no tiene ningún sentido. Las investigaciones continúan.

Espero que este breve resumen del trabajo que se lleva a cabo en la actualidad para revelar la estructura definitiva de la materia proporcionará, como mínimo, una visión general de la investigación en física moderna. El físico trata su disciplina con una actitud próxima a la reverencia, motivado por la creencia en la belleza y la simplicidad matemática de la naturaleza y convencido de que excavando más profundamente en las entrañas de la materia hallará armonía. La experiencia hasta la fecha indica que cuanto menor es el sistema explorado más generales son los principios descubiertos. Según esta filosofía, la mayor parte de la complejidad aparente del mundo se debe simplemente a que los sistemas físicos que estudiamos se encuentran a energías demasiado bajas. Se cree que a medida que la energía de los procesos objeto de estudio se eleva vertiginosamente, también se hace más aparente la unidad y la simplicidad. Esta es la razón de que se inviertan tantos recursos en construir aceleradores de altas energías. Estos aceleradores nos pueden ayudar a allanar el camino en nuestra intensa búsqueda de la simplicidad.

Hubo una época, sin embargo, en que la simplicidad se pudo explorar de manera natural. Fue durante la primera fracción de segundo del Universo. En aquel momento, las temperaturas

sobrepasaban los mil trillones de grados, equivalente a la colosal energía que se necesita para explorar la simplicidad. Este período se conoce entre los físicos como la era de la T. G. U., puesto que la física que prevalecía en aquel momento estaba dominada por los procesos que estudia la teoría de gran unificación de las fuerzas fundamentales. En este momento se estableció el desequilibrio decisivo mencionado en el capítulo 3 (el desequilibrio que dio lugar al minúsculo exceso de materia sobre la antimateria). A medida que el Universo se enfriaba, la fuerza unificada se iba diversificando en las tres distintas fuerzas (electromagnética, débil y fuerte) que percibimos ahora en nuestro Universo relativamente frío.

La idea de que la compleja física de nuestros días es un "estado congelado" de la simple física del fuego primigenio tiene una persuasiva elegancia. El principio definitivo de la naturaleza (el reluciente mecanismo central de Wheeler) se encuentra oculto por falta de energía. Si extendemos estas ideas a las épocas que precedieron a la era de la T. G. U., hasta microsubdivisiones del tiempo todavía anteriores (y, por tanto, mayores temperaturas), se alcanza el estadio de la supergravedad. Corresponde al mismo umbral de la existencia, donde el espacio y el tiempo están entremezclados con las fuerzas fundamentales. La mayor parte de los físicos creen que el concepto de espacio-tiempo debe detenerse ante la era de la supergravedad. Efectivamente, hay indicios de que el espacio y el tiempo deben ser tratados como campos "congelados" de una sopa primigenia de elementos pregeométricos. Así, en esta era suprema, las cuatro fuerzas de la naturaleza eran indistinguibles y el espacio-tiempo no había alcanzado todavía una forma coherente. El Universo no era más que una colección de componentes ultrasimples (la materia prima con la cual Dios moldeó el espacio, el tiempo y la materia).

Los recientes avances en la física de las fuerzas fundamentales descritos en este capítulo han abierto una perspectiva

completamente nueva de la naturaleza que está ganando adeptos rápidamente entre los físicos y los astrónomos. El Universo se está empezando a percibir como una complejidad congelada a partir de la simplicidad, de manera muy parecida a como la simplicidad sin rasgos distintivos del océano puede quedar congelada en unas enmarañadas masas de hielo que constituyen los icebergs. En la comunidad científica se cree que los temas cosmológicos por un lado y las fuerzas fundamentales de la naturaleza por el otro están convergiendo para proporcionar una descripción unificada del Cosmos. Es una descripción en la cual la estructura ultramicroscópica de la materia está íntimamente ligada a la estructura global, cada una influyendo en el desarrollo de la otra de una manera delicada y compleja.

La sucesión de éxitos descritos en este capítulo constituye un triunfo indudable de las ideas de la física moderna basadas en el razonamiento reduccionista. Intentando reducir la materia a sus bloques estructurales definitivos (leptones, quarks y mensajeros), los físicos han empezado a vislumbrar la ley fundamental que controla todas las fuerzas que configuran la estructura y el comportamiento de la materia.

Pero este enfoque no puede ser suficiente. Hemos visto en capítulos anteriores que el reduccionismo es incapaz de explicar muchos fenómenos observados que son de carácter colectivo u holístico. Sería ridículo pretender dar razón de la conciencia de una célula viva o incluso de un sistema inanimado tal como un tornado, en términos de quarks.

Gran parte del lenguaje utilizado en este capítulo encubre el concepto un tanto oscuro de estructura que tienen los físicos. Cuando un físico dice que un protón "está hecho de" quarks, no lo dice en un sentido literal. Por ejemplo, cuando decimos que un animal está hecho de células o que una biblioteca está compuesta de libros queremos indicar que podemos separar una célula o un libro

de un sistema mayor y examinarlo aisladamente. En el caso de los quarks, esto no es así. Por lo que sabemos, es imposible partir un protón y extraerle los quarks.

Disponemos ya de una respetable tradición demoledora. Los átomos se rompen literalmente en pedazos todos los días en los modernos aceleradores de partículas; los núcleos atómicos son más difíciles de destruir, pero también se desintegran en colisiones de muy altas energías. ¿No podemos también separar los protones y neutrones en sus quarks constituyentes disparando proyectiles a altas velocidades sobre ellos? Lo que sucede, en realidad, es bastante diferente. Un electrón puntual a alta velocidad puede abrirse camino en el protón y rebotar en uno de sus quarks, mostrando así que los quarks existen realmente. Pero si golpeamos el protón con un mazo y no con una bala (es decir, si enviamos contra él otro protón), en vez de obtener quarks obtendremos más hadrones. Nunca aparecen quarks aislados. Todo lo que la naturaleza parece permitir son colecciones (pares y tríos) de quarks siempre ligados.

Así, cuando un físico dice que un protón está hecho de quarks no quiere decir que estos constituyentes enigmáticos se puedan exhibir individualmente. Más bien se está refiriendo a un nivel de descripción que de algún modo es más fundamental que el del protón. Es cierto que el protón es compuesto y no elemental, pero no lo es en el mismo sentido en que una biblioteca está compuesta de libros.

Todavía surgen mayores dificultades cuando se considera el factor cuántico, puesto que, como vimos en el capítulo 8, ninguna de las partículas subatómicas es realmente partícula en el sentido corriente del término. Es posible que ni tan sólo sean "cosas". Una vez más, la descripción de la materia en términos de tal o cual colección de partículas debe entenderse en el ámbito de los niveles de descripción, que aquí sólo es posible gracias al lenguaje abstracto

de las matemáticas avanzadas. Sólo en este contexto se puede dar un significado preciso a la expresión reduccionista "hecho de".

Las dificultades que introduce el factor cuántico en el tema de "qué está hecho de qué" se pueden ilustrar con una de las expresiones del principio de incertidumbre de Heisenberg. Esta vez, la dicotomía no es entre onda y partícula o entre posición y velocidad, sino entre energía y tiempo. Estos dos conceptos se emparejan de una manera misteriosamente antagónica: si se conoce el uno no se puede conocer el otro. Si un sistema, por tanto, sólo se observa durante un breve intervalo de tiempo, su energía fluctuará enormemente. En el mundo macroscópico la energía se considera una magnitud inalterable. El principio de conservación de la energía se erige como la piedra angular de la física clásica. Sin embargo, en el microcosmos cuántico la energía puede aparecer y desaparecer de la nada de un modo espontáneo e imprevisible.

Estas oleadas cuánticas de energía se traducen en estructuras complejas cuando se considera la famosa ecuación de Einstein, $E = mc^2$. Esta fórmula dice que la materia y la energía son equivalentes o que la energía puede crear materia, un hecho ya discutido en capítulos anteriores. Allí la energía la suministraban fuentes externas. Aquí deseamos discutir la creación de partículas materiales a partir de fluctuaciones de energía cuántica sin ningún suministro externo. El principio de incertidumbre de Heisenberg funciona como un banco de energía. La energía se puede tomar prestada siempre y cuando se devuelva rápidamente. Cuanto menor es la duración, mayor es la cantidad que se permite tomar en préstamo.

En el microcosmos, una súbita oleada de energía puede ocasionar la efímera aparición de un par electrón-positrón. Su existencia momentánea puede ser financiada por el préstamo de Heisenberg. Nunca puede durar más de 10^21 segundos, aunque el efecto acumulativo de estas innumerables partículas fantasmales

dota al espacio vacío de una especie de textura movediza, por bien que nebulosa e insustancial. En este mar de incesante actividad nadan las partículas subatómicas. No solamente los electrones y los positrones, sino también los protones y antriprotones, los neutrones y antineutrones, los mesones y antimesones (todas las partículas concebibles de la naturaleza) participan en esta refriega.

Desde el punto de vista cuántico, un electrón no es meramente un electrón. Torbellinos fluctuantes de energía centellean a su alrededor, financiando la imprevisible aparición de fotones, protones, mesones e incluso otros electrones. En resumen, todos los componentes del mundo subatómico se pegan a un electrón como una capa evanescente e intangible, como un enjambre de fantasmales abejas zumbando alrededor del panal. Cuando dos electrones se acercan, sus capas se entrelazan y tiene lugar una interacción. Las capas son meramente una expresión cuántica de lo que anteriormente considerábamos como campos de fuerza.

Los electrones nunca pueden separarse de su séquito de partículas fantasmales. Cuando preguntamos "¿qué es un electrón?", la respuesta no es tan sólo la partícula central. Debemos considerar el todo, incluyendo las partículas fantasmas acompañantes que producen las fuerzas. Y cuando se trata de los hadrones, con su estructura interna, la identidad de las partículas se hace todavía más borrosa. Un protón, por alguna razón, contiene quarks que están a su vez ligados gracias a los gluones. Nos encontramos aquí de nuevo con una especie de círculo vicioso: las fuerzas están producidas por partículas que a su vez producen fuerzas...

En el caso de una partícula como el fotón, este círculo vicioso indica que el fotón puede mostrar muchas caras distintas. Con energía prestada puede convertirse en un par electrón-positrón o en un par protón-antiprotón. Se han realizado experimentos para sorprenderlos "in fraganti". Tampoco un fotón "puro" puede ser destilado de esta compleja trama de transmutaciones.

Para la inmensa mayoría de las partículas, que son inestables y que, de todos modos, sólo viven durante una pequeña fracción de segundo, es difícil distinguir entre "real" y "fantasmal". ¿Quién puede sostener, por ejemplo, que una determinada partícula ^ que se desintegra en 10~21 segundos es real, mientras que un par electrón-positrón financiado por el principio de Heisenberg con una vida media del mismo orden es tan sólo un fantasma?

Hace algunos años un físico americano, Geoffrey Chew, comparó esta danza inacabable de confusas transmutaciones con una democracia. No podemos señalar a una partícula y decir que es tal o cual objeto. Debemos, más bien, considerar que cada partícula está hecha de las demás partículas en un círculo vicioso sin fin. Ninguna partícula es más elemental que otra.

Se habrá visto que hay un fuerte aroma holístico en los aspectos cuánticos de la naturaleza de la materia: niveles de descripción con cada cosa hecha de algún modo de cada una de las otras cosas y sin embargo, mostrando una jerarquía de estructuras. Es dentro d esta integridad global donde los físicos siguen tratando de encontré los constituyentes fundamentales de la materia y la fuerza única fundamental.

XII. ¿PROYECTO O ACCIDENTE?

«¿De dónde surge todo este orden y belleza que vemos en el mundo?»
ISAAC NEWTON

«El hombre al fin sabe que se encuentra solo en la insensible inmensidad del Universo... Ni su destino ni su deber han sido escritos.»
JACQUES MONOD
El azar y la necesidad

En su Teología Natural, Wiliiam Paley (1743-1805) articuló uno de sus más poderosos argumentos en favor de la existencia de Dios:

Supongamos que al pasear por el campo tropiezo con una piedra y me pregunto cómo llegó hasta allí: puedo responder que, dado que no hay razones para creer lo contrario, la piedra ha permanecido allí desde siempre. No sería quizá fácil demostrar lo absurdo de esta respuesta. Pero si encontrara un reloj en el suelo y me preguntara cómo llegó hasta allí. Difícilmente se podría aceptar la respuesta que he dado antes, es decir, que de acuerdo con mis conocimientos, el reloj podría haber estado eternamente allí. ¿Por qué no es aceptable esta respuesta en el reloj, pero si lo es en el de la piedra?

La intrincada y delicada organización de un reloj, con sus comas tan precisamente ensamblados, constituye una prueba abrumadora en favor de un proyecto. Alguien que nunca hubiera visto un reloj con anterioridad podría llegar a la conclusión de que el mecanismo fue concebido por una persona inteligente para un determinado propósito.

Paley fue más allá y afirmó que el Universo se asemeja a un reloj en su organización y complejidad, aunque en una escala enormemente mayor. Debe existir, por tanto, un diseñador cósmico que haya dispuesto el mundo de esta forma con un propósito: "los mecanismos de la naturaleza superan los del arte en complejidad y sutileza".

La hipótesis del proyecto está asociada al concepto de teleología: la idea de que el Universo ha sido programado para evolucionar hacia un objetivo final. En su mayor generalidad, el argumento teleológico abarca tanto el orden de la simplicidad como el orden de la complejidad. Es una vieja idea. Santo Tomás de Aquino escribió que «se observa una ordenación hacia un fin en

todos los cuerpos que obedecen las leyes naturales aun en el caso de no tener coincidencia...», lo cual muestra que se dirigen hacia una meta y no que la alcanzan puramente por accidente. A pesar de que Santo Tomás no sabía nada de la simplicidad matemática de las leyes fundamentales de la física, adivinó que los cuerpos materiales debían obedecer unas leyes ordenadas y esgrimió este hecho como prueba en favor de un Dios diseñador.

El argumento teleológico fue atacado tan despiadadamente que todavía en nuestros días los teólogos lo tratan con cierta circunspección. Sin embargo, todavía cuenta con algunos defensores. «La existencia de orden en el Universo», escribe Swinburne, «aumenta significativamente la probabilidad de que exista un Dios.» No obstante, Swinburne basa su razonamiento en el orden de la simplicidad más que en el orden de la complejidad. La idea de que las estructuras naturales complejas constituyen una prueba de la existencia de un diseñador cósmico parece haber caído en desgracia.

La principal objeción a la idea de proyecto en el caso de la complejidad es que muchos sistemas con un orden y estructura complejos se pueden explicar, de hecho, como el resultado final de procesos naturales perfectamente normales. Esto, desde luego, no demuestra que todos los sistemas ordenados hayan surgido de modo natural, sino que impone ciertas reservas a la hora de inferir la existencia de un diseñador a partir de la afirmación superficial de que algo es demasiado complicado para haber surgido por puro azar.

El conflicto clásico entre estas concepciones opuestas se remonta a la publicación del libro de Charles Darwin El origen de las especies. La exquisita organización de las criaturas vivas parece ofrecer la mejor demostración posible de la existencia de un diseñador sobrenatural. Sin embargo, los datos biológicos y geológicos nos ofrecen una explicación adecuada de las

características extraordinarias de los organismos biológicos. La evolución del orden biológico a través de mutaciones y selección natural se acepta en la actualidad de una manera virtualmente unánime tanto por parte de los científicos como por parte de los teólogos. Aunque la teoría original de Darwin no está establecida en toda su integridad, los mecanismos y principios básicos de la evolución ya no se ponen en duda seriamente.

La característica esencial de la evolución darwiniana es su naturaleza accidental. Las mutaciones ocurren por puro azar y, gracias a estas alteraciones aleatorias en las características de los organismos, la naturaleza cuenta con muchas opciones, entre las que elegir sobre la base de la mejor adaptación a las condiciones naturales. De esta forma pueden surgir estructuras complejas por la acumulación de un número enorme de pequeños accidentes. El correspondiente aumento de orden (descenso de entropía) ocasionado por esta tendencia está compensado de sobra por el número mucho mayor de mutaciones perjudiciales que son eliminadas por la selección natural. Por tanto, no hay conflicto con la segunda ley de la termodinámica. Las criaturas maravillosamente forjadas que han sobrevivido hasta la fecha ocupan la cima de un árbol genealógico orlado de desastres genéticos.

Se esté dispuesto o no a aceptar que el mecanismo darwiniano lo explica todo, no se puede negar que la mutación y la selección natural son dos de los factores más importantes en la producción de orden biológico. El principio esencial de que los sistemas físicos se pueden organizar a sí mismos espontáneamente es un hecho empírico. En el capítulo 5 vimos como en años recientes los físicos y los químicos han estudiado muchos ejemplos sencillos de auto-organización en el laboratorio. Estos estudios han adquirido tanta importancia que se ha acuñado una nueva palabra, sinergética, para describirlos. Nos vemos obligados a concluir que la presencia de orden en un sistema, por muy notable y complejo que sea, no

garantiza, en sí misma, la existencia de un diseñador. El orden surge espontáneamente.

Estas observaciones dejan todavía abierta una cuestión esencial. Aunque la aparición espontánea de orden no entra en conflicto con la segunda ley de la termodinámica si se genera desorden en otra parte, está claro que no puede existir orden en absoluto a menos que el Universo como un todo dispusiera originalmente de un depósito de entropía negativa. Si, de acuerdo con la segunda ley, el desorden total siempre crece, entonces parece que el Universo debe haber sido creado en un estado ordenado. ¿No constituye esto un fuerte indicio en favor de un creador-diseñador? Después de todo, aun en el caso de que los procesos naturales puedan producir orden localizado sin ayuda, sigue siendo necesaria una reserva de entropía negativa para desencadenar estos procesos. Esto sería un indicio en favor de un diseñador por poderes, de un creador que pusiera en marcha la máquina para que ésta ensamblara cualquier estructura. No obstante, esta estrategia requeriría una impresionante habilidad sobrenatural por la siguiente razón:

La entropía, el desorden, está estrechamente relacionada con los conceptos de probabilidad y disposición. Un sistema de alta entropía, o un sistema desordenado, es uno que puede obtenerse en un gran número de maneras distintas. Consideremos, por ejemplo, un recipiente con gas en equilibrio con una cierta temperatura y densidad uniformes. Ésta es la condición de máxima entropía posible para el gas. Bajo estas circunstancias, las moléculas del gas se pueden redisponer de muchas maneras (por ejemplo, dirigiéndose a diferentes posiciones o alterando sus velocidades) sin alterar las propiedades macroscópicas del gas. Por otro lado, consideremos un estado de muy baja entropía en el que todas las moléculas se mueven en trayectorias paralelas, u otro en que todas las moléculas se encuentran apiñadas en un extremo del recipiente. Estas configuraciones ordenadas son enormemente más sensibles a

cualquier minúscula reagrupación de las moléculas, y solamente da lugar a ellas una pequeñísima fracción del número total de disposiciones moleculares posibles. Así, los estados ordenados (de baja entropía) son altamente improbables e inestables. Requieren la cooperación cuidadosa de un número enorme de moléculas individuales. En los estados desordenados (de alta entropía) todas las moléculas se pueden mover prácticamente al azar sin tener que preocuparse de las demás.

Así, si se nos pidiera que eligiéramos una disposición de moléculas al azar, lo más probable es que la elegida correspondiera a la máxima entropía, ya que hay un número mucho mayor de disposiciones desordenadas que ordenadas. Es como si un chimpancé golpea el teclado de un piano. Las posibilidades de que interprete una melodía conocida en lugar de una sucesión caótica de notas son muy pocas. Una investigación matemática muestra que el orden es sensible exponencialmente a las reagrupaciones. Es decir, la probabilidad de que una elección aleatoria nos conduzca a un estado ordenado decrece exponencialmente con el grado de entropía negativa. Una ley exponencial se caracteriza por su ritmo rápido de crecimiento (o decrecimiento). Por ejemplo, una población que crezca exponencialmente se duplica en cada intervalo determinado de tiempo: 1, 2, 4, 8, 16, 32...

El factor exponencial implica que las posibilidades en contra de un orden generado aleatoriamente crecen astronómicamente. Por ejemplo, la probabilidad de que un litro de aire se sitúe espontáneamente en uno de los extremos del recipiente que lo contiene es del orden de 101020 a uno, donde el número 101020 es la notación científica para designar un uno seguido de 100.000.000.000.000.000.000 de ceros. Tales cifras indican el extremo cuidado con que los estados de baja entropía son elegidos entre el vastísimo número de estados posibles.

Si trasladamos todo esto a un contexto cosmológico, el enigma que se plantea es el siguiente. Si el Universo no es más que un accidente, la probabilidad de que contenga cualquier orden apreciable es ridículamente pequeña. Si el Big Bang fue un suceso aleatorio, entonces la probabilidad parece abrumadoramente favorable (un colosal eufemismo) a que el material cósmico emergente se encuentre en equilibrio termodinámico en un estado de máxima entropía y de orden nulo. Dado que éste no es el caso, parece difícil escapar a la conclusión de que el estado actual del Universo ha sido seleccionado de algún modo entre el enorme número de estados posibles, los cuales, excepto en una pequeña fracción infinitesimal, están totalmente desordenados. Y si tan enormemente improbable estado inicial fue seleccionado, ¿no tuvo que existir un seleccionador o diseñador para "elegirlo"?

Pensemos en un creador provisto de un alfiler. Delante de él tiene un inmenso "catálogo" de universos, cada uno de los cuales está caracterizado por su estado inicial. Si el creador elige un Universo clavando el alfiler al azar sobre la lista, la probabilidad es abrumadora de que la elección sea un Cosmos altamente desordenado sin ninguna estructura ni organización apreciable. Para encontrar un Universo ordenado, el creador debería hacer una selección entre un número tan enorme de modelos que no podría escribirse en una hoja de papel del tamaño del Universo observable.

El misterio de cómo obtuvo el Universo su estado de baja entropía ha excitado la imaginación de varias generaciones de físicos y cosmólogos, muchos de los cuales se muestran reticentes a recurrir a la selección divina. Ludwig Boltzmann, el padre de una rama de la termodinámica denominada mecánica estadística, prefirió recurrir al puro azar. Sugirió que el orden del Cosmos surgió espontáneamente gracias a una favorable colaboración de fluctuaciones del equilibrio increíblemente raras. El fundamento de su tesis es el hecho que, aun estando en equilibrio, las moléculas de

un gas no permanecen inertes, sino que se mueven continuamente al azar. De vez en cuando, unas pocas moléculas se encontrarán a sí mismas en una involuntaria cooperación y un pequeño enclave de orden surgirá efímeramente entre un océano de caos. Si elevamos exponencialmente la escala de tiempos, es plausible pensar que mayores regiones de cooperación pueden surgir accidentalmente con el tiempo. Si el Universo tiene suficiente tiempo disponible, entonces cabe suponer que se formarán tarde o temprano estrellas y galaxias enteras de un modo accidental. El tiempo necesario para que un accidente tan absolutamente improbable tenga lugar es inconcebiblemente largo (al menos 101080 años); pero esto no constituye, en principio, ningún problema si uno está dispuesto a admitir que el Universo tiene una edad infinita.

De acuerdo con este punto de vista, el Universo se encuentra la mayor parte del tiempo en un caos total sin ninguna organización. Sin embargo, de vez en cuando, entre intervalos de increíble duración, se dan unos pocos miles de millones de años de orden accidental. La razón de que nosotros nos encontremos presentes para ser testigos de una ocurrencia de tan remota probabilidad es simplemente que en ausencia de tal "milagro" la vida no podría existir. Dado que la vida se alimenta de entropía negativa (ver capítulo 5), los observadores conscientes sólo existirán en las épocas de fluctuaciones "milagrosas".

Una interesante consecuencia del razonamiento de Boltzmann es la garantía de una forma de inmortalidad. Se puede demostrar matemáticamente que la mezcla molecular continua responsable de que el Universo "se dé cuerda a sí mismo" posee la siguiente curiosa propiedad. A medida que las moléculas se arremolinan, el Universo visita estado tras estado. A la larga, cada posible estado será visitado. Cualquier cosa que pueda suceder sucederá tarde o temprano. Pero la mezcla no se detendrá y el Universo volverá a visitar estados que han ocurrido previamente. Con el tiempo, cada

estado habrá vuelto a ser visitado, y el proceso continuará. Este fenómeno de repetición y duplicación ilimitadas se conoce como el ciclo de Poincaré, en memoria del físico y matemático Henri Poincaré que estableció este resultado (al menos lo demostró para un caso ideal). Tomado al pie de la letra, el teorema de Poincaré implica que a su debido tiempo el planeta Tierra será reconstruido mucho después de su desaparición, ¡junto con todos sus habitantes! Además, esto ocurrirá infinitas veces. Sin embargo, para cada caso de duplicación más o menos exacta habrá un innumerable número de casos en los que se producirán desviaciones de la disposición actual. Cuanto mejor sea el "ajuste", más pequeña será la probabilidad de reconstitución y mayor será, por tanto, la espera.

Pocos físicos se toman en serio la explicación de Boltzmann del orden cósmico. El mecanismo básico del reciclaje de Poincaré no se pone en duda, aunque en la actualidad se sabe que el Universo se encuentra en un estado de expansión global. En general, se acepta que esta expansión del Universo le impone una edad finita. Su vida de varios miles de millones de años es como una insignificante gota de agua en el océano del tiempo necesario para ocasionar un minúsculo descenso de entropía.

El argumento de Boltzmann, sin embargo, saca a relucir una característica vital de valor perdurable. El Universo que percibimos ha sido, necesariamente, seleccionado por nosotros por la simple razón de que la vida y, por tanto, la conciencia sólo se puede desarrollar en las condiciones físicas apropiadas.

Hay que tener presente que, por definición, no podemos observar un Cosmos inhabitable. Este simple hecho ha sido usado, como veremos en breve, para argumentar que el improbable Universo de baja entropía que observamos ha sido seleccionado, en efecto, entre una amplia colección de universos posibles (la práctica totalidad de los cuales están desordenados). Sin embargo, la selección ha sido hecha por nosotros y no por Dios.

Por consiguiente, si creemos en el Big Bang, parece que nos vemos obligados a admitir que el Universo explotó de una manera notablemente ordenada, aun sabiendo que una creación accidental habría producido (con una probabilidad que es prácticamente certeza) un Universo totalmente desordenado. Esta paradoja fundamental en el "mundo" de la cosmología ha estimulado algunas respuestas distintas.

1. ¿Y QUÉ?

Muchos científicos opinan que no tiene sentido discutir los conceptos de probabilidad, azar y verosimilitud a posteriorí. Si en una playa cogemos un guijarro al azar y medimos cuidadosamente su forma y tamaño, podríamos llegar a la correcta conclusión de que era altamente improbable que hubiéramos seleccionado un guijarro exactamente de estas dimensiones. Sin embargo, no estaría justificado decir que hacer tal elección fue un milagro o que un agente sobrenatural oculto nos obligó a elegirlo. Estos argumentos pierden su fuerza una vez ha ocurrido el suceso. La sorpresa hubiera estado sin duda justificada si las dimensiones del guijarro se hubieran especificado con anterioridad. En la misma línea se podría aducir que, dado que el Universo existe, su estructura particular no debería producirnos ninguna sorpresa. Simplemente es así.

Otros científicos nos recuerdan que la probabilidad solamente está definida en relación a una colección de ensayos. Decir, por ejemplo, que al lanzar un dado obtendremos un "dos" con una probabilidad de un sexto es afirmar que después de una serie reiterada de lanzamientos del dado en una sexta parte aproximadamente de los lanzamientos habrá salido un "dos". Cuanto mayor sea el número de veces que lancemos el dado, mayor será la convergencia de la proporción hacia un sexto. Como mínimo, los temas que pueden ser tratados en términos de probabilidad

deben ser miembros de una colección o conjunto de cosas semejantes. Por ejemplo, en un dado hay seis caras, el guijarro de la playa tiene millones de vecinos. Por tanto, si solamente existe un Universo, ¿qué significado pueden tener las discusiones probabilísticas sobre el mismo?

Este argumento, no obstante, no es del todo convincente. Si hubiera sucedido, por ejemplo, que el guijarro seleccionado hubiera sido exactamente esférico, la sorpresa hubiera estado totalmente justificada aunque su naturaleza esférica no se hubiera especificado con anterioridad. Una esfera es una figura muy especial que tiene la propiedad de ser altamente regular. Incluso después del suceso, la selección aleatoria de un guijarro esférico se podría considerar como una circunstancia notable merecedora de una explicación. Del mismo modo, un Universo habitable por el ser humano tiene un significado especial para nosotros que está ausente de la inmensa mayoría de Universos, aquellos que son inhabitables. Aquí, los defensores del ¿y qué? replicarían que si el Universo no hubiera estado dispuesto como está, nosotros no estaríamos aquí para maravillarnos ante él. En efecto, cualquier Universo en el que criaturas inteligentes puedan plantearse cuestiones filosóficas y matemáticas es, por definición, un Universo del tipo que observamos, por muy notable que este Universo pudiera parecer a príori. En otras palabras, ellos sostienen que no existe, después de todo, nada demasiado extraño o misterioso en el Universo altamente ordenado que percibimos, ya que, de otro modo, no podríamos (evidentemente) percibirlo.

Este tipo de razonamiento recibe cierto apoyo de la filosofía del positivismo lógico, que, a grandes rasgos, sostiene que no tiene sentido hablar de lo que nunca puede observarse. ¿Qué sentido tiene discutir sobre un Universo en el que no hay observadores conscientes? Dado que tal Universo nunca podría ser confirmado ni

refutado por la observación, su existencia no parece tener ningún sentido ni significado para los individuos conscientes.

Una concepción relacionada con ésta la constituye el denominado principio antrópico fuerte, articulado por primera vez en detalle por el astrofísico Brandon Cárter y muy discutido en los últimos años por físicos y astrónomos. De acuerdo con este principio, "el Universo debe ser tal que admita seres conscientes dentro de él en alguna fase" (la cursiva es mía). Esto equivale a afirmar que, lejos de ser asombrosamente improbable, el Universo tuvo que surgir con el grado de orden adecuado para la aparición de la vida.

Estas dos posiciones, el positivismo lógico y el principio antrópico fuerte, dependen en gran manera de la existencia de un observador inteligente (humano o extraterrestre). Por su parte, el teólogo replicará que Dios es un observador que no requiere condiciones físicas especiales para su existencia. De modo que desde un punto de vista teológico los universos que nunca producen vida pueden tener también sentido si se supone que son observados por Dios.

2. LA TEORÍA DE LOS MÚLTIPLES UNIVERSOS

De acuerdo con este punto de vista existe un conjunto de universos del cual el nuestro no es sino un miembro más. El Universo que percibimos es sólo uno entre una enorme, quizás infinita, colección de universos, cada uno de los cuales difiere de los demás en uno u otro aspecto. En esta colección hay un ejemplo de cada posible disposición de materia y energía. Aunque la inmensa mayoría de estos Universos no son adecuados para la vida y se encuentran muy próximos a las condiciones totalmente caóticas de máxima entropía (equilibrio termodinámico), existirá, sin embargo, una pequeñísima fracción en que accidentalmente se darán las

condiciones precisas para el desarrollo de la vida. Es evidente que solamente estos universos accidentales podrán ser percibidos por organismos vivos, que escribirán libros sobre lo increíblemente improbable que es el mundo en el que habitan.

La hipótesis de Boltzmann, mencionada más arriba, es idéntica desde un punto de vista lógico a la teoría de los múltiples universos. Sus universos aparecen secuencialmente, aunque las fases organizadas están separadas por tales abismos temporales que deben considerarse como físicamente independientes. Una variante moderna del principio secuencial es la teoría del Universo oscilante. Como veremos (en el capítulo 15), es posible que la actual expansión del Universo no continúe indefinidamente. Si no lo hace, el Universo empezará a desmoronarse sobre sí mismo en un gigantesco cataclismo conocido como el Big Crunch (la gran implosión). Algunos físicos especulan sobre si el Cosmos altamente comprimido, en lugar de implosionar hasta desaparecer en una singularidad espaciotemporal, rebotará al alcanzar una cierta enorme densidad, para embarcarse posteriormente en un nuevo ciclo de expansión y contracción. Según esta idea, el Universo existirá indefinidamente de un modo cíclico, oscilando entre contracciones y explosiones, pasando por estados de baja densidad, al modo de un globo que se hinchara y deshinchara continuamente.

El Universo oscilante adolece de algunos de los problemas físicos asociados con todos los universos de edad infinita que se discutieron en el capítulo 2. Sin embargo, las incertidumbres que rodean la física de la materia en un estado altamente comprimido dejan la puerta abierta a la especulación. Una sugerencia debida a Wheeler es que las contracciones y explosiones tienen el efecto de "reprocesar" el Cosmos. Lo que esto significa es que cada nuevo ciclo es una especie de "nueva aventura" en que las condiciones físicas se barajan aleatoriamente. No se intenta explicar cómo esto puede ocurrir, pero, de ocurrir, el Universo podría explorar todas

sus posibilidades al cabo de un número suficiente de ciclos (que, por supuesto, sería un número astronómicamente grande). Una vez más, solamente en aquellos ciclos donde por accidente el mezclador cósmico hubiera dado con la posibilidad adecuada, existirían cosmólogos para especular sobre el mismo.

Una alternativa a suponer un conjunto de universos en el tiempo es suponer la existencia de un Universo que sea infinito en extensión espacial. La práctica totalidad del Cosmos se encontraría próximo al equilibrio (sin estructura ni organización), pero aquí y allá surgirían espontáneamente osáis de orden a partir del caos, debidos a fluctuaciones casuales. Las distancias entre los oasis serían, desde luego, inconmensurablemente enormes, pero como la vida y los observadores conscientes únicamente se podrían formar dentro de un oasis, todos los observadores de este Universo percibirían necesariamente el orden.

Quizá la versión más aceptada de la idea de los múltiples universos se basa, sin embargo, en la interpretación de Everett de la mecánica cuántica. Según esta teoría, rodos los posibles mundos cuánticos son reales y coexisten en paralelo con los demás. Así, cada vez que un electrón se enfrenta con dos opciones, ambas alternativas ocurren y el Universo entero se divide en dos. Cada Universo está lleno de habitantes (cuyos cerebros y presumiblemente también sus mentes se habrán bifurcado) que creen que el electrón ha optado abruptamente por una de las alternativas. Los dos universos están desconectados entre sí en cuanto no es posible viajar de uno a otro a través del espacio y el tiempo ordinarios. Existen "junto al otro" o "en paralelo" en un sentido abstracto. Y debido a que existen tantos universos como elecciones cuánticas, cada posible distribución de materia y energía se dará en alguna parte de la infinita colección de mundos paralelos.

Esta línea de pensamiento (que los observadores seleccionan un Universo altamente atípico entre un vasto número de

alternativas) se conoce como el principio antrópico débil. La idea ha sido atacada por razones filosóficas y físicas. En primer lugar tiene, en un sentido, demasiado éxito. Al permitir que la naturaleza realice todas las posibilidades, sirve para "explicar" cualquier cosa. De hecho, no nos haría falta la ciencia para nada. Bastaría con mostrar que esta u otra característica es indispensable para la existencia humana para que automáticamente pasara a estar explicada.

Otra debilidad del argumento antrópico es que parece ser la misma antítesis de la llamada navaja de Ockham, principio según el cual la explicación más plausible es la más sencilla y la que contiene el menor número de hipótesis. Invocar una infinidad de universos para explicar uno solo parece ser un tanto aparatoso, sin mencionar el hecho de que en su gran mayoría estos universos no pueden ser observados (excepto, quizá, por Dios). "¡De ninguna manera!", responden los defensores del principio antrópico. "La interpretación de Everett de la teoría cuántica puede ser cara en universos, pero es extremadamente barata en epistemología. Considérense las retorcidas y poco plausibles hipótesis que se hacen en las explicaciones alternativas del problema de la medición cuántica. En la teoría de los múltiples universos la interpretación se desprende del formalismo, sin ninguna hipótesis metafísica adicional."

Sin embargo, los partidarios de la teoría de los múltiples universos admiten que los "otros mundos" de su teoría no pueden ser nunca inspeccionados, ni tan sólo idealmente. Viajar entre las "ramas" cuánticas está prohibido. Por otra parte, las regiones ordenadas de los universos infinitos u oscilantes están separadas por tales inmensidades de espacio y tiempo que ningún observador ajeno a ellas puede verificar o refutar empíricamente su existencia. Es difícil ver cómo esta construcción puramente teórica se pueda usar en una explicación científica de una característica de la naturaleza. Desde luego, puede ser más fácil creer en una colección

infinita de universos que en una deidad infinita, pero tal creencia debe basarse en la fe más que en la observación.

Las bases científicas del principio antrópico débil y el principio antrópico fuerte han sido también cuestionadas. El recurso al concepto de probabilidad, en torno al que gira el principio antrópico, se ha esgrimido para atacarlo. La cuestión hace referencia a la probabilidad relativa de pequeñas frente a grandes fluctuaciones. Pensemos de nuevo en el chimpancé que toca el piano al azar. Tras una espera excepcional podríamos escuchar una serie de tres o cuatro notas de una melodía familiar. La espera para escuchar, digamos, una serie de seis notas sería inmensamente más larga. La improbabilidad crece sensiblemente con el grado de orden. Consideremos otro ejemplo. Puede ocurrir que al repartir cartas barajadas entre cuatro jugadores cada uno reciba un as. No obstante, es mucho menos probable que cada uno reciba un as, el caballo y el rey del mismo palo. Las posibilidades de que un jugador no reciba una mano con todas las cartas del mismo palo son muchas. Las pequeñas coincidencias son relativamente mucho más probables que las muy grandes.

El contexto de la cosmología, un accidente aleatorio que produzca, digamos, una estrella es, con mucho, más probable (menos improbable) que uno que produzca una galaxia completa. Y así, la probabilidad de que se formen miles de millones de galaxias sería infinitesimal comparada con la probabilidad de que se forme una galaxia sencilla. ¿No bastaría una galaxia o incluso una sola estrella para que se formara vida y, por tanto, surgieran los observadores? ¿Por qué, entonces, observamos todo un Universo repleto de estructura ordenada? Según la teoría de los múltiples universos, por ejemplo, existirían miles de millones de universos con sólo una galaxia por cada universo que tuviera dos; a medida que entran en juego más galaxias, la discrepancia proporcional aumenta de modo muy rápido. De existir observadores en estos

universos, es mucho más probable que la inmensa mayoría de ellos habiten un universo con una sola galaxia en vez de un Cosmos compuesto de muchas galaxias. ¿Cómo explicamos, entonces, la existencia de tantas galaxias en nuestro Universo?

La única respuesta concebible para esta crítica es que, por alguna razón desconocida, la formación de una galaxia está, de alguna manera, vinculada a la estructura a gran escala del Universo. Quizá las galaxias sólo pueden formarse cuando se cumple alguna condición global especial, y en este caso se forman en todas partes. En otras palabras, los universos o bien están repletos de galaxias o bien no tienen ninguna. En física se conocen principios de conexión de este tipo, pero el mecanismo de la formación de las galaxias es todavía demasiado oscuro para una evaluación realista de esta posibilidad.

3. ORDEN A PARTIR DEL CAOS

La tercera respuesta al misterio del origen del orden cósmico intenta demostrar que el orden, de alguna manera, ha surgido a partir de un estado inicial caótico gracias a procesos físicos naturales y no a partir de fluctuaciones inconcebiblemente extrañas (esta idea ya se ha discutido con detalle en el capítulo 4; aquí vamos solamente a resumirla). A primera vista, esta concepción parece condenada al fracaso. ¿No afirma la segunda ley de la termodinámica que (fluctuaciones aparte) el orden da lugar al caos pero no al revés?

Así es, en efecto, pero se debe leer la "letra pequeña". Rigurosamente, la segunda ley sólo se puede aplicar a sistemas totalmente aislados. Es evidente que cualquier parte del Universo, por muy grande que sea, no está aislada, puesto que está en contacto con las partes que la rodean. Y por si esto no basta, el Universo entero está sujeto a la famosa expansión, y esta perturbación externa puede ser muy importante.

Una buena analogía nos la ofrecen el humilde pistón y el cilindro de un motor de explosión ordinario. Pensemos un gas confinado en el cilindro debajo del pistón. Si el pistón está en reposo, el gas está en equilibrio a una temperatura y presión uniformes (condición de máxima entropía.) No debe esperarse ningún cambio posterior: el gas está desprovisto de cualquier estructura ordenada o actividad organizada. Ahora bien, supongamos que se levanta el pistón súbitamente, de forma que se deja expandir el gas. De pronto el gas deja de ser uniforme. La densidad es menor cerca del pistón, donde aumenta el espacio disponible. Se producen movimientos turbulentos a medida que el gas fluye hacia el espacio. Si el pistón invierte su movimiento y vuelve a su posición original, el gas, con el tiempo, se estabiliza otra vez en un estado de equilibrio termodinámico, pero la entropía habrá aumentado a consecuencia de esta perturbación. Temporalmente, el gas habrá creado estructura y organización a medida que se movía el pistón.

¿Hemos descubierto un fallo en la segunda ley? Por supuesto que no. La entropía del gas se ve aumentada tras un ciclo completo de movimiento. Está más caliente. El estado inicial de equilibrio era el estado de máxima entropía consistente con las condiciones de contorno externas al sistema en aquel momento. Sin embargo, cuando se movió el pistón estas condiciones cambiaron, permitiendo al gas alcanzar un estado de entropía todavía mayor. En resumen, el estado inicial de equilibrio era un máximo relativo y no un máximo absoluto.

En el caso cosmológico, la expansión del Universo juega un papel similar al del pistón como modificador de las condiciones de contorno externas. Los cosmólogos señalan que, lejos de encontrarse en un estado ordenado, el Universo primitivo se encontraba cerca del equilibrio termodinámico. Ninguna de las estructuras familiares que podemos observar en la actualidad (galaxias, estrellas, átomos)

estaban presentes en el Big Bang. En efecto, durante el primer minuto la temperatura era demasiado elevada incluso para la existencia de núcleos atómicos. De algún modo, la actual estructura ordenada ha surgido a partir del caos primigenio. ¿Cómo ha sido posible?

Gran parte de la compleja organización que nos es familiar en la Tierra, como los biosistemas y las estructuras meteorológicas, es generada por la luz del Sol, fuente vital de la entropía negativa de la que nos alimentamos. El almacén de entropía negativa del Sol es su combustible nuclear (principalmente hidrógeno). Los elementos de masa media como el hierro son la forma más estable (de alta entropía) de materia nuclear. La producción de luz solar representa la entropía producida por el intento del Sol de convertir hidrógeno en hierro a través de una sucesión de reacciones nucleares. El secreto del orden (entropía negativa) del Sol y de la mayoría de estrellas hay que buscarlo en la explicación de su abundancia del hidrógeno. Cerca de tres cuartas partes de la masa del Universo están compuestas de hidrógeno y prácticamente todo el resto se compone del segundo elemento más ligero, el helio. ¿Por qué no es todo de hierro?

La respuesta a esta pregunta se dio en el capítulo 4. El Universo primigenio estaba demasiado caliente para que existiera el hierro, y su enfriamiento subsiguiente fue demasiado rápido para que tuvieran lugar transmutaciones nucleares significativas. El material primigenio permaneció así atrapado en forma de hidrógeno de baja entropía, incapaz de alcanzar su objetivo de convertirse en hierro de alta entropía hasta que las estrellas hicieron su aparición.

Con esta explicación es evidentemente innecesario suponer que el Universo, después de todo, fue creado en un estado notablemente ordenado. El material primigenio se encontraba, en realidad, en un estado de desorden total (máxima entropía). Tal

estado puede alcanzarse del mayor número de maneras posible y el creador sólo es imprescindible para clavar al azar su alfiler en el catálogo.

¿Está, pues, resuelto el misterio del origen cósmico?

El estado nuclear del material cósmico es un factor decisivo en la generación de la estructura y organización observadas, pero no lo puede explicar todo. Las estructuras superiores (estrellas y galaxias) están modeladas por la gravedad. Por otra parte, la crucial expansión cósmica está también controlada por la gravedad. ¿Qué se puede decir de la organización gravitatoria del Cosmos? Desde un punto de vista gravitacional, ¿vivimos en un Universo ordenado o desordenado? Estas cuestiones constituyen el tema del próximo capítulo.

XIII. LOS AGUJEROS NEGROS Y EL CAOS CÓSMICO

«El caos es ubicuo.»
JOHN BARROW

¿Fue creado nuestro Universo en un estado muy especial, cuidadosamente concebido, de modo que a su debido tiempo la vida y después la mente florecieran para maravillarse ante él o, por el contrario, vivimos en medio de un monstruoso accidente sin sentido, una erupción cósmica a partir de la nada que ocurrió por azar? No puede haber tarea más apremiante para los cosmólogos de nuestros días que abordar el interrogante crucial de la existencia, en el capítulo anterior se presentaron argumentos que indicaban que, a pesar de los imperativos de la segunda ley de la termodinámica, la mayor parte del orden cósmico podría haber surgido de forma natural a partir de un Universo primigenio en un estado totalmente caótico, completamente consistente con un origen aleatorio accidental del mundo físico. Cuando se considera la gravedad, sin embargo, el panorama cambia abruptamente, la gravedad es la más débil de las fuerzas de la naturaleza, pero dado que la atracción gravitatoria entre dos cuerpos es proporcional a las masas, a gran escala es la fuerza más importante. Debemos, por tanto, analizar la estructura de los cúmulos estelares y las galaxias así como el movimiento global del Cosmos en expansión en términos de gravedad. Aunque existe una teoría de la gravitación bien desarrollada, a saber, la teoría general de la relatividad de Einstein, a la hora de atacar el concepto del orden gravitacional la física se encuentra con dificultades. No se comprende todavía la termodinámica los sistemas gravitacionales, y conceptos tales como la entropía de un campo gravitatorio están sólo vagamente formulados.

Como vimos en el capítulo 4, un aspecto paradójico de la entro pía gravitacional es que los estados que nos parecen más estructura dos tienen, en realidad, mayor entropía que los estados menos estructurados. Por ejemplo, una distribución uniforme inicial de estrellas evolucionará hacia una organización más complicada, consistente en una gran cantidad de veloces estrellas cerca del

centro de gravedad y una población más difusa de estrellas más lentas en derredor (ver fig. 7). Esta tendencia de los sistemas gravitacionales a crear estructuras espontáneamente es un buen ejemplo de autoorganización. Debería compararse con el comportamiento de un gas en el que las fuerzas gravitacionales son despreciables. El gas tiende hacia un estado de uniformidad con una temperatura y densidad homogéneas. Por el contrario, los sistemas gravitantes tienden a formar agrupaciones heterogéneas.

En ausencia de otras fuerzas, todos los sistemas gravitacionales se desplomarían completamente. La Tierra, por ejemplo, no se hunde sobre sí misma por su propio peso gracias a la rigidez de los materiales de que está compuesta (rigidez de origen eléctrico en definitiva). Del mismo modo, el Sol evita la implosión gracias a la enorme presión de radiación generada por el horno nuclear que hay en su núcleo. Si se suprimieran estas fuerzas internas, ambos cuerpos se comprimirían en cuestión de minutos a un ritmo cada vez más acelerado. A medida que lo hicieran, la atracción gravitatoria se haría mayor y el ritmo de compresión se aceleraría. Pronto se verían engullidos en una intensificada distorsión del tiempo y se convertí rían en agujeros negros. Desde el exterior, el tiempo parecería estar detenido y no se podría distinguir ningún cambio posterior. El agujero negro representa el estado final de equilibrio de un sistema gravitatorio y corresponde a la máxima entropía.

Aunque la entropía de un sistema gravitacional general no se conoce,' las investigaciones de Jacob Bekenstein y Stephen Hawking, en las que se aplica la teoría cuántica a los agujeros negros, han permitido encontrar una fórmula para calcular la entropía de estos objetos. Como se esperaba, ésta es enormemente mayor que la entropía de, por ejemplo, una estrella de la misma masa. Dando por supuesto que la relación entre la entropía y la probabilidad se extiende al caso gravitatorio, este resultado puede ser expresado de

una manera interesante. Dada una distribución aleatoria de materia (gravitante), es abrumadoramente más probable que se forme un agujero negro que una estrella o una nube de gas disperso. Estas consideraciones, por consiguiente, dan un nuevo giro a la cuestión de si el Universo fue creado en un estado ordenado o desordenado. Si el estado inicial fue elegido al azar, parece extremadamente probable que el Big Bang hubiera expelido agujeros negros en lugar de gases dispersos. La estructura actual de la materia y la energía, con lo materia apenas esparcida en forma de estrellas y nubes de gas a una densidad relativamente baja, sólo sería posible a partir de una «lección muy especial de las condiciones iniciales. Roger Penrose ha calculado la probabilidad de que el Universo observado hubiera aparecido por accidente, dado que un Cosmos compuesto de agujeros negros es mucho más probable a príorí; su resultado es de uno entre 101030.

La ausencia (o al menos la falta de predominancia) de agujeros negros no es la única cuestión. El movimiento y la estructura a gran escala del Universo son igualmente notables. La gravedad acumulada del Universo restringe la expansión, decelerándola con el tempo. En la fase primigenia la expansión fue mucho más rápida de lo que es en la actualidad. El Universo es, por tanto, el producto de una competición entre el vigor expansivo del Big Bang y la fuerza de la gravedad que intenta reunir otra vez todas las piezas. En años recientes los astrofísicos han empezado a darse cuenta de cuan delicado es el equilibrio entre estas dos tendencias antagónicas. Si ti Big Bang hubiera sido más débil, el Cosmos pronto se hubiera precipitado sobre sí mismo en un Big Crunch. Por otro lado, si hubiera sido mayor, el material cósmico se habría dispersado tan rápidamente que las galaxias nunca se hubieran llegado a formar. De una u otra manera, la estructura observada del Universo parece depender muy sensiblemente de la exacta igualación del poder expansivo con el poder gravitacional.

Veamos lo exacta que es esta igualación según los cálculos. En el llamado tiempo de Planck (10~43 segundos, el instante más remoto en el que el concepto de espacio y tiempo tienen sentido), la Igualación fue exacta hasta la asombrosa precisión de una parte en 1060. Es decir, si la intensidad de la explosión hubiera diferido en sólo una parte en 1060, el Universo tal como lo percibimos en la actualidad no existiría. Para dar algún significado a estos números, si quisiéramos disparar una bala sobre un blanco de un centímetro colocado en el otro lado del Universo observable, a una distancia de unos veinte mil millones de años luz, deberíamos apuntar con una precisión de una parte en 1060.

Aparte de la precisión de esta igualación global, existe el misterio de por qué el Universo es tan extraordinariamente uniforme, tanto en la distribución de la materia como en su velocidad de expansión. La mayoría de las explosiones son algo caótico, y cabría esperar que la intensidad del Big Bang hubiera variado de un puní a otro. Esto no fue así. La velocidad de expansión del Universo en nuestra propia vecindad cósmica es indistinguible de la de la parte más lejana.

Esta coherencia de comportamiento en todo el Cosmos paree aún más destacable cuando se tiene en cuenta lo que se conoce como horizontes de luz. Cuando la luz se expande a través del Universo, debe dar caza a las galaxias que se alejan unas de otras debido a la expansión. La velocidad de recesión de una galaxia de pende de su distancia al observador. Las galaxias distantes se alejan más deprisa. Consideremos una señal luminosa emitida desde un punto dado en el instante de la Creación. En la actualidad, la luz habrá recorrido alrededor de veinte mil millones de años luz a través del espacio. La luz no habrá alcanzado las regiones del Universo situadas más allá de esta distancia. Los observadores allí situados no podrán ver la fuente luminosa. Del mismo modo, los observadores que se encuentren cerca de la fuente luminosa no podrán ver esta u otras

regiones. Por tanto, ningún observador en el Universo puede ver en este momento más allá de veinte mil millones de años luz Hay una especie de horizonte en el espacio que oculta lo que se encuentra más allá. Dado que ninguna señal o influencia puede viajar más deprisa que la luz, no puede existir ninguna conexión física entre dos regiones del Universo situadas cada una más allá del horizonte de la otra.

Cuando dirigimos los telescopios hacia los límites exteriores del Universo observable, exploramos regiones que, aparentemente, no han estado nunca en contacto causal mutuo. La razón es que las regiones que se encuentran en lados opuestos del firmamento terrestre están tan separadas entre sí que se encuentran más allá de sus horizontes respectivos. La situación es análoga a la que se produce con los horizontes ordinarios. Un vigía en un barco en alta mar puede distinguir otros dos barcos, uno a proa y otro a popa, sitúa dos en su horizonte visual, pero estos dos barcos serán invisibles uno para el otro debido a la mayor separación entre ellos. Del mismo modo, las galaxias situadas en lados opuestos del firmamento están situadas más allá de sus respectivos horizontes de luz. Dado que todas las comunicaciones o influencias físicas están limitadas por la velocidad de la luz, no es posible que estas galaxias hayan coordinado su comportamiento.

El enigma, entonces, estriba en dilucidar por qué estas regiones del Universo que están causalmente desconectadas son tan similares en estructura y comportamiento. ¿Por qué contienen galaxias del mismo tamaño y la misma forma que retroceden mutuamente B la misma velocidad? El misterio se hace más profundo cuando nos damos cuenta de que este comportamiento es un remanente de hace muchísimo tiempo, de cuando las galaxias se formaron. En el pasado, la luz había recorrido una distancia menor desde el momento de la Creación, de modo que los horizontes se encontraban más próximos. Después de un millón de años se

encontraban a una distancia de un millón de años luz. Después de cien años, a cien Ros luz de distancia, y así sucesivamente. Si retrocedemos hasta el tiempo de Planck, los horizontes tenían un tamaño de tan sólo 10~33 cm. Incluso admitiendo la expansión del Universo, regiones de tan pequeño tamaño como ésta no habrían podido expandirse, de acuerdo con la teoría corriente, hasta un tamaño visible en la actualidad. Así pues, parece que todo el Universo observable estaba en aquel tiempo separado en 1080 regiones desconectadas causalmente. ¿Cómo es posible explicar esta cooperación sin comunicación?

Un problema afín es el grado extremo de isotropía cósmica, es decir, de uniformidad respecto a la orientación. Mirado desde la Tierra, el Universo presenta el mismo aspecto independientemente de la dirección de nuestras observaciones. Medidas cuidadosas del fondo de radiación cósmica residual muestran que el flujo de esta radiación es exactamente el mismo en todas direcciones con una precisión de una parte en un millar. Si el Big Bang hubiera sido un suceso aleatorio, tan excepcional uniformidad hubiera sido prácticamente imposible.

El resultado de estas consideraciones es que la disposición gravitacional del Universo es sorprendentemente regular y uniforme. No parece haber ninguna razón evidente por la cual el Universo no debiera haber enloquecido, expandiéndose de una forma caótica e Inconexa, produciendo enormes agujeros negros. Canalizar la violencia explosiva para dar lugar a un movimiento tan regular y organizado parece casi un milagro. ¿Lo es? Analicemos varias respuestas posibles a este misterio.

1. EL PRINCIPIO OCULTO

Cuando el valor observado de una magnitud es muy próximo a cero, los físicos se inclinan a sospechar que, por alguna profunda

razón, es exactamente cero. Buscan un principio fundamental que garantice que la cantidad deba ser precisamente cero. Por ejemplo, no existe ninguna diferencia discernible entre las cargas eléctricas que transportan los distintos electrones. De ello se concluye que las cargas son iguales, es decir, que sus diferencias son exactamente cero. Esto es una consecuencia del principio fundamental de la indistinguibilidad de los electrones. Otro ejemplo es que todos los objetos que se dejan caer a la vez llegan juntos al suelo (en ausencia de la resistencia del aire). La diferencia en sus tiempos de llegada es exactamente cero, una consecuencia de lo que se conoce como el principio de equivalencia, principio fundamental de la gravedad que establece que la respuesta gravitacional de un cuerpo es independiente de su naturaleza.

Se podría concebir un principio (o conjunto de principios) que requiriera, por ejemplo, que la intensidad explosiva del Big Bang igualase exactamente la atracción gravitacional en todas partes. Esto implicaría que el Universo se expande de tal modo de que encuentra precisamente en la línea divisoria entre la completa dispersión del material cósmico y una final detención de la expansión seguida del desplome. Este principio aseguraría también que el Universo emergió del Big Bang con una distribución uniforme de materia, y no lleno de agujeros negros. Del mismo modo, también implicaría que la expansión fue exactamente uniforme en todas las direcciones. Aunque no tenemos ninguna idea de cuál pueda ser este principio, basándonos en el hecho de que las diferencias entre las velocidades de expansión en diferentes regiones y en diferentes direcciones es muy próxima a cero, es muy tentador sugerir que hay algo en la naturaleza que hace que estas diferencias sean exactamente cero.

Por desgracia, no puede ser tan sencillo. Si el Universo fuera exactamente uniforme, no se habrían formado galaxias. De acuerdo con nuestros conocimientos actuales, parece que la formación de las galaxias a partir de los gases primigenios sólo pudo ocurrir cuan do

ocurrió si los embriones de las galaxias estaban ya presentes al principio. La acumulación de material por acreción a partir del Universo circundante es muy lenta cuando tiene que competir con la expansión cosmológica. Solamente en el caso de que tuvieran una ventaja inicial, las galaxias podrían superar la tendencia dispersante de la expansión. Si existe un principio "fundamental, éste debe permitir una desviación suficiente de la uniformidad para que puedan crearse las galaxias, pero no tan grande como para producir agujeros negros. ¡Sin duda un delicado y complicado equilibrio!

2. DISIPACIÓN

Una posible explicación de la uniformidad de la expansión cósmica es suponer que el Universo empezó con un movimiento altamente no uniforme pero que de algún modo se libró de la turbulencia. Estudios teóricos sugieren, en efecto, que un Universo que se expande mucho más deprisa en una dirección que en las demás está sujeto a un efecto de frenado por una variedad de mecanismos. Por ejemplo, la creación de materia a partir de la energía de expansión (ver capítulo 3) disminuiría el ímpetu del movimiento en la dirección rápida y tendería a alinearla con las otras direcciones. Se conocen asimismo otros procesos de frenado.

Se han hecho dos objeciones a este razonamiento. La primera es que, por muy eficiente que sea la disipación de la turbulencia primigenia, siempre es posible encontrar estados iniciales tan distorsionados que habrían dejado un vestigio a pesar del amortiguamiento. Como mucho, solamente podremos demostrar que el Universo debe haber pertenecido a una clase notable de estados iniciales.

La segunda objeción es que toda disipación genera entropía. La violencia de la turbulencia primigenia se convertiría en enormes cantidades de calor que superarían en mucho la cantidad observada

de la radiación térmica primigenia. Existe, sin embargo, un punto débil en esta objeción. La cantidad de calor en el Universo como tal es un concepto sin ningún significado. Debe medirse comparándolo con algún indicador o patrón. La única posible comparación es con la materia, de modo que los cosmólogos piensan en términos de calor por átomo o de calor por protón. Esto es, calculan el calor total en un gran volumen de espacio, estiman la masa de la materia en este volumen y calculan el correspondiente número de protones. El calor por protón resulta ser más bien pequeño. Es casi mil billones de veces menor que el calor de una cerilla. Este modesto valor es según esta objeción, una consecuencia de la naturaleza inactiva del Universo primigenio. Si hubiera sido turbulento, el espacio estaría ahora lleno de abrasadora radiación térmica. Pero pueden ponerse reparos al uso de los protones para calibrar el valor del calor. Los protones podrían no ser las partículas indestructibles necesarias para proporcionar un indicador fijo como patrón de comparación. De acuerdo con las llamadas teorías de gran unificación de las tuerzas fundamentales, los protones se pueden desintegrar. Por un proceso inverso también se pueden crear. En el capítulo 3 vimos como los protones se crearon a partir de la energía primigenia y que las teorías de gran unificación predicen correctamente el calor por protón en términos de los parámetros de dicha teoría. Debido a que estas teorías ajustan automáticamente la abundancia de protones para hacerla corresponder con el calor disponible, el calor por protón siempre resultará el mismo al final, sin que tenga demasiada importancia la cantidad de calor inicial desembolsada para disipar la turbulencia.

Así, la cuestión de si el Universo empezó en un estado de reposo altamente ordenado o en uno de extrema turbulencia e irregularidad depende de próximas verificaciones de las teorías de gran unificación, quizá a través de la confirmación de la desintegración del protón.

3. EL PRINCIPIO ANTRÓPICO

Debido a que es poco probable que en un Universo lleno de agujeros negros o movimientos turbulentos a gran escala pudiera ser posible la vida, queda lugar para una explicación antrópica de la uniformidad. Si se usa el principio antrópico débil, se puede concebir un conjunto de universos que abarca cada posible elección de velocidad inicia de expansión y de distribución de materia. Solamente en aquella minúscula fracción cuya disposición es semejante a la de nuestro Universo observado se daría la vida y podrían surgir observadores. Los universos anisótropos o altamente heterogéneos no serian cognoscibles.

Para ser útil, esta explicación debería demostrar que incluso un ligero aumento de irregularidad sería hostil para la vida. La sensibilidad de las condiciones físicas actuales del Universo a las pequeñas alteraciones en el estado primigenio puede ser muy grande. Por ejemplo, si los protones no se desintegran, una minúscula cantidad de anisotropía primitiva podría producir tanto calor que hiciera imposible la vida. Un aumento por un factor de cien en la temperatura cósmica de fondo tendría efectos desastrosos para la vida tal como la conocemos. Sin embargo, no se han realizado cálculos detallados y el argumento antrópico aquí está abierto a las mismas críticas que avanzamos en el capítulo anterior.

4. INFLACIÓN

Muy recientemente se ha propuesto un enfoque enteramente nuevo para el problema de la uniformidad cósmica. Se basa en las teorías de gran unificación y depende decisivamente de varias hipótesis sobre la materia a energías ultraaltas que son muy discutibles y en cualquier caso difíciles de verificar. Sin embargo, muestra vívidamente cómo un notable avance en la física

fundamental puede cambiar completamente nuestra visión del origen del orden en el Universo.

Se recordará que a medida que el Universo se enfriaba, las tres fuerzas de la naturaleza (la electromagnética y las nucleares débil y fuerte) se "congelaron" en una fase inicial indiferenciada, adquiriendo sus diferentes formas actuales. Esta transición de fase es análoga a la transición de vapor a agua o de agua a hielo. Las dos fases no difieren sólo en la naturaleza de las fuerzas, sino también en sus efectos gravitacionales. El mismo mecanismo responsable de separar la fuerza unificada en sus componentes electromagnéticos y nucleares es también responsable de generar una enorme fuerza gravitacional repulsiva.

La posibilidad de la existencia de una especie de fuerza cósmica repulsiva fue de hecho considerada por Einstein en 1917, aunque, en realidad, a él nunca le gustó la idea y no disponemos de ninguna prueba astronómica de que exista. Sin embargo, las teorías de gran unificación nos dicen que debió haber habido una repulsión cósmica en el estado primigenio antes del primer 10~35 de segundo, cuando el Universo alcanzó la inimaginablemente alta temperatura de 1028 grados. Alan Guth, del M.I.T (Instituto Tecnológico de Massachusetts), ha señalado que la existencia de esta fuerza habría tenido un espectacular y profundo efecto en la estructura del Universo primitivo.

Es probable que a medida que el Universo se expandía y enfriaba, la fuerza repulsiva superara en mucho los efectos de la fuerza gravitatoria atractiva ordinaria y embarcara al Universo en una fase de violenta inflación galopante. En la mínima fracción de segundo una región submicroscópica del espacio se habría hinchado exponencialmente hasta proporciones cósmicas, doblando su tamaño cada 10-35 segundos más o menos. Esta impetuosa distensión habría continuado hasta que en algún punto el Universo habría saltado a su otra fase "congelada", donde las fuerzas se

separan y desaparece la repulsión. En ausencia de su fuerza motriz, el crecimiento exponencial se habría detenido en medio de una deflagración térmica y el Universo habría regresado a su actividad más convencional, es decir, a la expansión gradualmente decelerada que todavía persiste hoy.

La hipótesis del Universo inflacionario resuelve de un plumazo algunos de los más importantes problemas cosmológicos. Por ejemplo, explica por qué el Universo es tan uniforme. Cualquier irregularidad inicial se habrá "diluido" drásticamente en el descomunal hinchamiento. Una burbuja de espacio no mayor que un protón se habría hinchado hasta hacerse muchas veces mayor que el actual Universo observable. Las irregularidades del Universo en las escalas protónicas y mayores se habrían vuelto insignificantes en nuestro Universo observable.

El Universo inflacionario explicaría también el milagroso equilibrio entre la fuerza expansiva del Big Bang y la fuerza gravitacional que actúa sobre el material cósmico. De acuerdo con Guth, cualquier exceso o defecto en el ritmo de expansión desaparece cuando la inflación exponencial controla la situación, y ello tiene también el efecto de inhibir la formación de monstruosos agujeros negros en la fase primigenia. Cuando el Universo sale de la fase exponencial, la desviación de la igualdad de las dos tendencias se habrá reducido a valores prácticamente nulos (aunque, evidentemente no serán estrictamente cero. Todavía se pueden formar galaxias. Finalmente, el Universo inflacionario resuelve también el problema del horizonte. Regiones del Universo en lados opuestos del firmamento se consideran generalmente como causalmente desconectadas, aunque de hecho estuvieron momentáneamente en contacto causal antes de la fase inflacionaria. Todo cuanto observamos (y mucho más) estuvo comprimido en una microscópica región del espacio al principio de la inflación. No hay horizonte (al menos donde pensamos). Para concluir su existencia

supusimos que el Universo siempre se ha estado desacelerando suavemente desde la Creación; ignoramos, por tanto, el período de crecimiento exponencial.

A pesar de ofrecernos una clara explicación de algunos antiguos enigmas cosmológicos, la hipótesis del Universo inflacionario no deja de tener sus dificultades. El principal obstáculo se conoce como el problema "de la salida airosa". A fin de que el modelo funcione, el período de crecimiento exponencial debe persistir durante el tiempo suficiente para que el Universo aumente su volumen en varias potencias de diez. Esta colosal expansión súbita hace que la temperatura descienda más o menos instantáneamente hasta cerca del cero absoluto. Parece que no hay nada capaz de impedir que la "congelación" ocurra inmediatamente, deteniendo con ello la inflación antes de que se ponga realmente en camino.

En una anterior versión de la teoría, Guth sugirió que el Universo pasó por un período de lo que se llama superenfriamiento. Éste es un fenómeno estudiado por los físicos en otros contextos más prosaicos. El agua, por ejemplo, si se encuentra en estado puro se puede enfriar cuidadosamente por debajo del punto de congelación sin solidificar. Sin embargo, una pequeña perturbación producirá la súbita transición a hielo. En el caso cósmico, el superenfriamiento podría permitir que el Universo se mantuviera en la fase de alta temperatura (fuerza unificada) durante un tiempo suficiente para que se diera el período inflacionario. El problema aparece cuando se produce el congelamiento. Parece probable que las "burbujas" de la nueva fase ("congelada") aparecieran al azar y empezaran a crecer a la velocidad de la luz. Dentro de las burbujas la inflación se encuentra ausente, ya que la energía del crecimiento inflacionario se transfiere a las paredes de las burbujas. Con el tiempo, las burbujas se hacen suficientemente grandes para superponerse. Las colisiones entre las paredes altamente energéticas de las burbujas podrían

introducir una gran cantidad de turbulencia e irregularidad, cuya ausencia se suponía que la hipótesis iba a explicar.

Se continúa trabajando en cómo evitar que este desorden enmarañado acabe con las ventajas que aporta la teoría de la inflación. Una idea posible es que las burbujas crezcan hasta alcanzar un tamaño suficiente para albergar el Universo entero y mucho más, de manera que nuestro Cosmos observado sería un oasis relativamente uniforme y tranquilo en un Universo irregular y turbulento a gran escala. Otra sugerencia es que en lugar de un superenfriamiento seguido de burbujas, el congelamiento podría haber sido un pro ceso muy lento, permitiendo que la inflación actuara bastante tiempo antes de que se alcanzara la transición de fase. Muchos de estos detalles dependen en gran manera del modelo y es demasiado pronto para decir si el problema de la "salida airosa" se podrá resolver satisfactoriamente.

A pesar de estas dificultades técnicas, el amplio éxito de la hipótesis del Universo inflacionario se ha granjeado las simpatías de muchos físicos y cosmólogos. Si es correcto, quiere decir que, en resumidas cuentas, el Universo no fue creado necesariamente en un estado muy especial y ordenado. Las irregularidades gravitacionales iniciales fueron barridas por la inflación, mientras que la expansión subsiguiente permitió al material cósmico, inicialmente sin estructura, evolucionar hasta estructuras complejas y organizadas. Así pues, el origen de toda la compleja organización cósmica podría explicarse como el resultado de una sucesión de procesos perfectamente naturales.

5. DIOS

Si las grandes teorías de unificación no se confirman y si el argumento antrópico es rechazado, entonces la naturaleza altamente uniforme del Universo a gran escala puede presentarse como

prueba de un plan cósmico diseñado por un Hacedor. Sin embargo, se trataría únicamente de una prueba negativa. Nadie podría estar seguro de que futuros avances en nuestra comprensión de la física de las tempranas fases del Universo no pudieran proporcionar una explicación perfectamente satisfactoria de un Cosmos ordenado. Del mismo modo que la formación de estructuras complejas ordenadas como el Sistema Solar fue atribuida en su momento a una deidad, y se explicó después perfectamente dentro del marco de la astrofísica, también podría ocurrir que los misterios que rodean al orden cósmico a gran escala puedan llegar a ser comprendidos en términos puramente naturales.

Nuestra conclusión debe ser que no sólo no hay pruebas científicas positivas en favor de un diseñador y creador del orden cósmico (en el sentido de la entropía negativa), sino que existen grandes esperanzas de que las actuales teorías de la física proporcionen una explicación perfectamente plausible de estos temas.

En la naturaleza hay, sin embargo, más cosas que explicar que sus leyes matemáticas y su orden complejo. Un tercer ingrediente requiere a su vez una explicación: las llamadas "constantes fundamentales" de la naturaleza. Es aquí donde encontramos la prueba más irresistible en favor de un gran plan general.

Los físicos entienden por constantes fundamentales ciertas magnitudes que juegan un papel básico en la física y que toman el mismo valor numérico en todas partes del Universo y en todos los instantes del tiempo. Unos pocos ejemplos bastarán para ilustrar esta idea. Un átomo de hidrógeno es lo mismo en una estrella distante que en la Tierra. Tiene el mismo tamaño, masa y cargas eléctricas internas. Pero los valores de estas magnitudes son totalmente misteriosos para nosotros. ¿Por qué la masa del protón en el átomo de hidrógeno es 1.836 veces mayor que la del electrón?

¿Por qué precisamente este número? ¿Por qué sus cargas eléctricas toman precisamente estos valores y no otros cualquiera?

Todas las fuerzas de la naturaleza contienen números como éste que determinan su intensidad y alcance. Puede ser que algún día dispongamos de una teoría que los explique en términos de una idea más fundamental. Vengan de donde vengan, los valores presentes que toman estas magnitudes tienen un significado crucial en la estructura del mundo físico.

Consideremos un ejemplo sencillo debido a Freeman Dyson. Los núcleos atómicos mantienen su cohesión gracias a la fuerza nuclear fuerte cuyo origen se encuentra en los quarks y los muones descritos en el capítulo 11. Si la fuerza fuera más débil de lo que es, los núcleos atómicos se harían inestables y se desintegrarían. El núcleo compuesto más sencillo es el del deuterio (hidrógeno pesado), que consiste de un protón ligado a un neutrón. Este par se mantiene unido gracias a la fuerza nuclear fuerte, aunque sólo débilmente. El vínculo se rompería por un trastorno cuántico si la fuerza nuclear fuera solamente un pequeño tanto por ciento más débil. El efecto sería espectacular. El Sol y la mayoría de las demás estrellas usan el deuterio como eslabón en la cadena de las reacciones nucleares que se producen en su interior. Si se eliminase el deuterio, las estrellas no podrían existir o deberían encontrar un nuevo camino nuclear para generar calor. En cualquier caso estarían obligadas a alterar drásticamente su estructura.

Temibles consecuencias se obtendrían igualmente si la fuerza nuclear fuera ligeramente más intensa. Sería posible entonces que dos protones superaran su repulsión eléctrica mutua y permanecieran unidos. Durante el Big Bang la abundancia de protones fue muy superior a la de neutrones. Cuando el material primigenio se enfrió, los neutrones encontraron protones a los que unirse. El deuterio resultante pronto sufrió síntesis posteriores para formar el helio. Sin embargo, el resto de protones desaparejados

permaneció sano y salvo para formar la materia prima de las estrellas. Si estos protones hubieran permanecido unidos a pares, un miembro de cada par se habría desintegrado en un neutrón convirtiendo el diprotón en deuterio y posteriormente en helio. De manera que en un mundo donde la fuerza nuclear hubiera sido un pequeño tanto por ciento más intensa no quedaría virtualmente hidrógeno del Big Bang. No podrían existir estrellas estables como el Sol ni tampoco agua líquida. Aunque no sabemos por qué tiene precisamente esta intensidad, podemos decir que, si no la tuviera, el Universo sería totalmente distinto. Es dudoso que alguna clase de vida pudiera existir.

Lo que impresiona a muchos científicos no es tanto el hecho de que los cambios en los valores de las constantes fundamentales pudieran alterar la estructura del mundo físico, sino lo sensible que es la estructura observada del Universo a estas alteraciones. Una minúscula variación de las intensidades de las fuerzas produce un cambio drástico en la estructura.

Consideremos como ejemplo las intensidades relativas de las fuerzas electromagnéticas y gravitacionales sobre la materia. Ambas fuerzas juegan un papel esencial en conformar la estructura de las estrellas. Las estrellas se mantienen unidas gracias a la gravedad, y la intensidad de la fuerza gravitacional determina cosas tales como la presión en el interior de la estrella. Por otra parte, la energía fluye hacia el exterior de la estrella gracias a la radiación electromagnética. La interrelación de estas dos fuerzas es complicada, pero se comprende razonablemente bien. Las estrellas masivas tienden a ser más brillantes y más calientes y no tienen dificultad en transportar la energía generada en el núcleo hasta la superficie en forma de luz y radiación térmica. Sin embargo, las estrellas ligeras son más frías y sus interiores no pueden deshacerse por sus propios medios de la energía a un ritmo suficientemente rápido por radiación únicamente: deben recibir ayuda de procesos

convectivos, lo cual conlleva la evaporación de las capas superficiales.

Estos dos tipos de estrellas (calientes y radiactivas o frías y convectivas) se conocen respectivamente como gigantes azules y enanas rojas. Delimitan una franja muy estrecha de masas estelares. El equilibrio en el interior de las estrellas es tal que casi todas las estrellas se encuentran en esta estrecha franja entre las gigantes azules y las enanas rojas. Sin embargo, como señalara Brandon Cárter, esta feliz circunstancia se debe enteramente a una notable coincidencia numérica entre las constantes fundamentales de la naturaleza. Una alteración en, por ejemplo, las intensidades de la fuerza gravitatoria de una simple parte en 1040 sería suficiente para eliminar esta coincidencia. En un mundo así, todas las estrellas serían o bien gigantes azules o bien enanas rojas. Estrellas como el Sol no existirían y no habría ninguna forma de vida que dependiera de estrellas del tipo solar para su sustento.

La lista de "accidentes" numéricos que parecen ser necesarios para que la estructura observada del mundo sea como es es demasiado larga para reproducirla aquí. (Para una discusión completa refiero el lector a mi libro El Universo accidental.) Las opiniones de los físicos están divididas sobre el significado de estas coincidencias. Al igual que en el caso de las condiciones iniciales del Universo, se podría recurrir a consideraciones antrópicas e hipótesis de universos múltiples en los que, por alguna razón, las constantes fundamentales tomaran valores distintos. Solamente en aquellos universos cuyos números fueran los adecuados surgirían vida y observadores. También podemos considerar que las coincidencias numéricas son una prueba en favor de la existencia de un plan. El delicado afinamiento de los valores de las constantes que es necesario para que las diferentes ramas de la física puedan encajar tan felizmente podría atribuirse a Dios. Es difícil sustraerse a la impresión de que la estructura actual del Universo, aparentemente

tan sensible a las menores alteraciones de los números, ha sido cuidadosamente concebida. Tal conclusión puede, desde luego, ser solamente subjetiva. En definitiva, se reduce a una cuestión de fe. ¿Es más fácil creer en un diseñador cósmico que en la multiplicidad de universos necesaria para que funcione el principio antrópico débil? Es difícil ver cómo ambas hipótesis pueden llegar a contrastarse en un estricto sentido científico. Como se señaló en el capítulo anterior, si no podemos visitar los otros universos ni obtener datos experimentales sobre ellos, su posible existencia no es menos una cuestión de fe que creer en Dios. Quizá los avances futuros de la ciencia nos reportarán pruebas más directas de la existencia de otros universos, pero, hasta entonces, la aparentemente milagrosa concurrencia de valores numéricos que la naturaleza ha asignado a sus constantes fundamentales sigue siendo el indicio más importante de la existencia de un proyecto cósmico.

XIV. MILAGROS

«Dios nunca forjó milagros para convencer al ateo, por que sus obras deberían convencerlo.»

FRANCIS BACON

«No se ha encontrado en toda la historia ningún milagro que haya sido confirmado por un suficiente número de personas de tan incuestionable buen sentido, educación y saber para que podamos estar seguros de que no se han engañado a sí mismas.»

DAVID HUME

Por muy persuasivos que puedan parecer, los argumentos en favor de la existencia de Dios basados en la cosmología o en los indicios de un plan en el mundo natural son, en el mejor de los casos, indirectos. Sin embargo, algunos afirman que la actividad de Dios puede observarse directamente en el mundo físico a través de los milagros. Las religiones más importantes del mundo poseen un amplio repertorio de milagros. En la Biblia se cuentan muchos de ellos. Incluso hoy en día no son raros los anuncios de supuestos milagros.

Al intentar valorar este tipo de pruebas, el primer problema con el que nos encontramos es definir exactamente qué se entiende por un milagro. No hay en absoluto acuerdo unánime sobre este punto. La frase "Un milagro de la ciencia moderna" expresa la impresión de algo raro y espectacular, pero está claro que en este caso la palabra no se emplea literalmente. Santo Tomás de Aquino definió el milagro como algo «hecho por el poder divino que se aparta del orden que generalmente siguen las cosas». En lenguaje moderno, esto significa una violación de las leyes de la naturaleza producida por Dios. En otras palabras, Dios interviene directamente en el funcionamiento de su mundo y cambia algo "transgrediendo las reglas". Si estos sucesos pudieran ser confirmados proporcionarían sin duda una prueba fehaciente tanto de la existencia de Dios como de su preocupación por el mundo.

Sin embargo, algunas veces se considera que un milagro es algo más débil. Muchas "salvaciones milagrosas" han convencido a una persona afortunada de la benevolencia de Dios. El único superviviente de un accidente de aviación puede considerar su salvación como un milagro, aunque el mismo suceso haya producido la absurda destrucción de todos los demás pasajeros.
Esta interpretación de los sucesos extraordinarios en términos de un "ángel de la guarda" pertenece a una categoría bastante distinta de la de la explícita violación de las leyes naturales. Sobrevivir a un

accidente de aviación no supone una violación de las leyes de la física. Estos sucesos son sólo notables coincidencias en el funcionamiento normal de los procesos físicos. El paracaidista con un para-caídas deteriorado que aterriza en un pajar sólo ha tenido la gran suerte de haber caído sobre el mismo. Ninguna intervención divina directa parece estar comprometida.

Aquellos que gustan de encontrar significados divinos en las coincidencias improbables y en las salvaciones afortunadas no hacen más que dar una interpretación teística de sucesos claramente naturales aunque poco comunes. Sin embargo, por muy convencida que pueda estar la persona afortunada de que "los dioses le sonríen", es difícil demostrar objetivamente la existencia de Dios a partir de sucesos de este tipo. El hombre que gana una fortuna en las quinielas futbolísticas sabe que, por las reglas del juego, alguien debe ganar. Y los soldados que con la ayuda de Dios matan a sus adversarios en el campo de batalla pueden preguntarse dónde estaba Dios cuando los soldados enemigos lo necesitaban.

> Creyente: En mi opinión, los milagros son la mejor prueba de la existencia de Dios.
>
> Escéptico: No estoy muy seguro de saber qué es un milagro.
>
> Creyente: Bien, algo extraordinario e imprevisible.
>
> Escéptico: La caída de un gran meteorito o la erupción de un volcán es extraordinario e imprevisible. ¿No estará sugiriendo que son milagrosas?
>
> Creyente: Desde luego que no. Son sucesos naturales. Los milagros son sobrenaturales.
>
> Escéptico: ¿Qué quiere decir con sobrenatural? ¿No es justamente un sinónimo de milagroso? Consultemos el diccionario. Dice: "Sobrenatural.

Fuera de la acción normal de causa y efecto." Hmm. Todo depende de lo que usted entienda por "normal".

Creyente: Diría que normal quiere decir familiar o bien comprendido.

Escéptico: Una dinamo o una radio habrían sido consideradas como milagrosas por nuestros antepasados, que no estaban familiarizados con el electromagnetismo.

Creyente: Estoy de acuerdo en que probablemente habrían considerado estos artefactos como milagrosos, pero estarían equivocados, puesto que hoy sabemos que funcionan según las leyes naturales. Un suceso verdaderamente sobrenatural es aquel cuya causa no se puede encontrar en ninguna ley natural conocida o desconocida.

Escéptico: ¿No será ésta una definición completamente inútil? ¿Cómo sabe qué leyes son desconocidas? Puede haber leyes totalmente extrañas o inesperadas que seamos incapaces de imaginar. Suponga que viera una roca flotando en el aire, ¿lo consideraría un milagro?

Creyente: Depende... Debería estar seguro de que no existía ningún truco o ilusión.

Escéptico: Sin embargo, puede haber procesos naturales que producen ilusiones que nadie podría esperar.

Creyente: ¿O quizá toda nuestra experiencia no es más que una ilusión y deberíamos renunciar a discutir nada?

Escéptico: Muy bien. No nos metamos por este camino. Todavía no puedo estar seguro de que algún caprichoso efecto magnético o gravitacional no esté haciendo levitar la roca.

Creyente: Pero es más fácil creer en Dios que en un extravagante fenómeno magnético. Se trata de una cuestión de credibilidad.

Escéptico: ¡Ah! ¿Así que por milagro usted entiende "algo causado por Dios"?

Creyente: ¡Naturalmente! Aunque algunas veces puede usar intermediaria humanos.

Escéptico: Entonces usted no puede presentar los milagros como una prueba en favor de Dios o de lo contrario su argumento es circular. "Los milagros prueban la existencia de un agente que produce milagros." El problema, tal como usted admitió, se reduce a creer o no creer. Usted dice que hay que creer en Dios para que los milagros tengan algún sentido. Los sucesos milagrosos en sí mismos no pueden demostrar la existencia de Dios. Pueden ser sucesos naturales imprevistos.

Creyente: Estoy dispuesto a admitir que es dudoso si las rocas flotantes son o no son un milagro. Pero considere alguno de los milagros famosos Jesús alimentando a la multitud, por ejemplo. ¡No me va a decir que alguna especie de ley natural multiplicó los panes y los peces!

Escéptico: Pero, ¿qué razones puede tener usted para creer una historia escrita cientos de años atrás por un conjunto de fanáticos supersticiosos con un interés personal en promover su propia religión?

Creyente: No sea cínico. Considerada aisladamente, la historia de los panes y los peces no es nada. Hay que situarla en el contexto de la Biblia. No fue el único milagro de que se da cuenta allí.

Escéptico: Cuénteme otro.

Creyente: Jesús andando sobre las aguas.

Escéptico: ¡Levitación! Yo pensaba que usted había descartado este tipo de milagro como "dudoso".

Creyente: Para una roca, sí: para Jesús, no.

Escéptico: ¿Por qué no?

Creyente: Porque Jesús fue el Hijo de Dios y, por tanto, poseía sobrenaturales.

Escéptico: Pero usted otra vez da por supuesto lo que intenta demostrar. Yo no creo que Dios tuviera poderes sobrenaturales. Si caminó sobre las aguas, preferiría suponer que fue debido a un suceso natural extraño imprevisto. Sin embargo, en cualquier caso no creo la historia. ¿Por qué iba a creerla?

Creyente: La Biblia ha sido una fuente de inspiración para millones de personas. No la menosprecie frívolamente.

Escéptico: Lo mismo ocurre con la obra de Karl Marx. Tampoco creería ningún informe suyo sobre milagros.

Creyente: Usted puede rechazar o aceptar la palabra de la Biblia, pero no puede descartar las declaraciones de cientos de personas que han experimentado milagros incluso en años recientes.

Escéptico: La gente afirma todo tipo de cosas: encuentros con extraterrestres, telepatía, clarividencia. Solamente un tonto o un loco daría crédito a esas bobadas.

Creyente: Admito que se dicen muchas cosas fantásticas y absurdas, pero la evidencia de curaciones milagrosas es irresistible. Piense en Lourdes.

Escéptico: ¡Psicosomático! Déjeme emplear sus propias palabras: "Es simplemente una cuestión de credibilidad." Estoy de acuerdo. ¿No es más fácil creer en unos sucesos que desde el punto de vista médico son inesperados que invocar una deidad?

Creyente: No puede desacreditar todos los milagros como psicosomáticos. ¿Qué quiere decir este término en realidad? Es simplemente un eufemismo para decir "médicamente inexplicable". ¿Por qué iba a estar tanta gente convencida de la existencia de milagros si se tratara simplemente de imprevistos naturales?

Escéptico: No es más que una herencia de la edad de la magia. Antes de la aparición de la ciencia o de las más importantes religiones del mundo, los pueblos primitivos creían que casi todas las cosas que ocurrían eran cosa de magia (la acción de algún tipo de dios o demonio secundario). A medida que la ciencia explicaba más cosas y la religión caminaba a tientas hacia la idea de un solo Dios, las explicaciones mágicas fueron desapareciendo. Sin embargo, todavía se conserva algún vestigio.

Creyente: Sin embargo, ¡¿no estará sugiriendo que los peregrinos de Lourdes son adoradores del demonio...?!

Escéptico: Evidentemente no. Pero su creencia en las curaciones milagrosas difiere muy poco, quizá nada, de las creencias de los brujos africanos o de los espiritistas, por ejemplo. Las supersticiones atávicas de la edad de la magia han sido institucionalizadas por las más importantes religiones. Hablar de milagros no es más que disfrazar las viejas historias de brujería.

Creyente: Existen los poderes del bien y el mal. Se manifiestan de muchas maneras.

Escéptico: ¿Y usted, pues, toma también los sucesos sobrenaturales malignos como una prueba en favor de Dios? ¿También él esgrime poderes malignos?

Creyente: La relación entre el bien y el mal es un tema teológico delicado. Existen muchas corrientes de opinión sobre sus preguntas. La maldad humana puede ser un cauce para el mal cualquiera que sea su origen fundamental.

Escéptico: ¿Así usted no hace a Dios necesariamente responsable de los denominados poderes ocultos, si existieran?

Creyente: No, no necesariamente.

Escéptico: De modo que existen al menos dos tipos de sucesos sobrenaturales: los originados por Dios (que usted ha llamado milagros)

y los desagradables (la magia negra, si me lo permite), cuyo origen es controvertido. Entonces supongo que también existirán los sucesos neutros, como la psicocinesia y la precognición. Es un poco complicado para mí. Prefiero creer que todos estos temas son fantasías primitivas, un residuo de la edad de la magia, un vestigio del politeísmo. Su creencia en los milagros es sólo el resultado de un espectro de supersticiones neuróticas primigenias, indignas de un Dios de la majestad y poder que usted describe.

Creyente: No me parece en absoluto descabellado suponer que existan poderes sobrenaturales que puedan ser manipulados de muchos modos para el bien o para el mal. Las curaciones milagrosas son el buen camino.

Escéptico: ¿Y proporcionan pruebas en favor de Dios?

Creyente: Así lo creo.

Escéptico: ¿Qué se puede decir de los fracasos, aquellos que no logran la curación? ¿Es que Dios no se preocupa de ellos o es que su poder flaquea ocasionalmente?

Creyente: Los caminos del Señor son inescrutables, pero su poder es absoluto.

Escéptico: Esto es simplemente una manera tópica de decir lo que no se sabe. De todos modos, si el poder de Dios es absoluto, ¿por qué necesita milagros?

Creyente: No le entiendo.

Escéptico: Un Dios omnipotente que gobierna todo el Universo y que puede hacer que suceda cualquier cosa, no tiene necesidad de milagros. Si quiere evitar que alguien muera de cáncer puede prevenirle de contraer la enfermedad. De hecho, para mí un milagro es más bien un indicio de que Dios ha perdido el control del mundo y trata torpemente de remediar el deterioro. ¿Cuál es el objeto de que Dios haga todos estos milagros?

Creyente: A través de los milagros Dios muestra su divino poder.

Escéptico: Pero, ¿por qué lo hace de un modo tan oscuro? ¿Por qué no lo escribe claramente en el cielo o por qué no pinta la Luna a cuadros u otra cosa más incuestionable? Mejor todavía, ¿por qué no evita algún desastre natural o la expansión de las epidemias devastadoras? Por muy maravillosas que puedan ser unas pocas curaciones en Lourdes, la miseria humana sigue siendo enorme. Repito, los milagros que describe me parecen impropios de un Dios omnipotente. Levitación, multiplicación de peces... todos tienen un aire de conjura cósmica. ¿No serán simplemente producto de la pueril imaginación humana?

Creyente: Quizá Dios está evitando desastres constantemente.

Escéptico: ¡Esto no es una respuesta! Cualquiera podría decir lo mismo. Suponga que yo dijera que pronunciando un encantamiento cada mañana estoy evitando la guerra mundial y citara como prueba el hecho de que, en efecto, la guerra mundial todavía no ha estallado. De hecho un grupo de defensores de los OVNI afirman precisamente esto.

Creyente: Los cristianos creemos que Dios mantiene continuamente el mundo en funcionamiento, de modo que cada cosa que ocurre es un milagro. Toda esta distinción entre lo natural y lo sobrenatural es en realidad un pretexto para desviar la atención.

Escéptico: ¡Ahora está cambiando de táctica! Parece como si insinuara que Dios es la naturaleza.

Creyente: Estoy diciendo que Dios es la causa de todas las cosas del mundo natural, aunque no necesariamente en el sentido temporal. No es que ponga en marcha todo el dispositivo y luego se siente a descansar. Dios está fuera del mundo y por encima de las leyes de la naturaleza, sustentando toda su existencia.

Escéptico: Me parece que aquí nos encontramos con una sutileza semántica. La naturaleza tiene un maravilloso conjunto de leyes y el Universo sigue un camino evolutivo trazado por estas leyes. Usted

describe exactamente lo mismo en términos teísticos hablando de "mantenimiento". ¿No será su Dios simplemente una manera de hablar? ¿Qué quiere decir que Dios mantiene el Universo? ¿Qué diferencia hay entre esto y decir que el Universo simplemente continúa existiendo?

Creyente: Usted no puede sentirse satisfecho con el hecho escueto de que el Universo existe. Debe tener una explicación. Yo creo que Dios es la explicación y que usa su poder en cada momento haciendo posible el milagro de la existencia. En la mayoría de los casos lo hace de un modo ordenado (lo que usted llamaría las leyes de la física), pero de vez en cuando se desvía de este orden y produce sucesos espectaculares a modo de avisos o señales a los seres humanos o para socorrer a los fieles, como cuando separó las aguas del mar Rojo para ayudar a los hebreos.

Escéptico: Lo que encuentro difícil de entender es por qué cree usted que este hacedor de milagros sobrenatural es el mismo ser que creó el Universo, que responde a las plegarias, que inventó las leyes de la física, que juzga... ¿Por qué no pueden todos estos individuos ser distintos agentes sobrenaturales? Se podría pensar que con tantos milagros que respaldan aparentemente tantas religiones diferentes y opuestas, una persona que crea en milagros estará obligado a admitir la existencia de una multitud de seres sobrenaturales en competencia.

Creyente: Un solo Dios es más simple que muchos.

Escéptico: Todavía no veo cómo estos llamados sucesos milagrosos, por muy notables que sean, puedan considerarse como una prueba de la existencia de Dios. Me parece que está simplemente cambiando los nombres. El "hada madrina" de la infancia pasa a ser la "diosa fortuna" que al final acaba convirtiendo en un ser real que llama Dios. ¿Cómo puede tomar estos "milagros" seriamente?

Creyente: Yo no encuentro nada increíble en Dios, que es el creador de todas las cosas, el hacedor de los objetos materiales. Comparado con el milagro de su Universo, ¿qué hay de notable en que Dios dividiera el mar Rojo?

Escéptico: Pero usted todavía basa su tesis en la hipótesis de que Dios existe. Estoy de acuerdo en que si existiera un Dios del tipo que usted describe (infinito, omnipotente, benevolente, omnisciente), el mar Rojo sería una nimiedad para él. Pero, ¿cómo sabemos que existe?

Creyente: Es una cuestión de fe. Escéptico: ¡Precisamente!

Espero que este diálogo inacabado ponga de manifiesto la esencia del conflicto entre ciencia y religión cuando se trata de temas sobrenaturales. La persona religiosa que cree en la actividad divina y ve constantemente a su alrededor pruebas de la obra de Dios no encuentra nada incongruente en los sucesos milagrosos, que son otra faceta de la acción de Dios en el mundo. Por el contrario, para el científico, que piensa que el mundo funciona de acuerdo a leyes naturales, un milagro es como una "conducta desviada", un acontecimiento patológico que estropea la belleza y la elegancia de la naturaleza. La mayoría de los científicos prefieren prescindir totalmente de ellos.

Las pruebas en favor de los milagros son, desde luego, de naturaleza altamente controvertida. Si hubiera que aceptarlas sobre la base de los testimonios existentes, no habría ninguna buena razón para no aceptar también toda una serie de otras pretensiones, —OVNI, doblamiento de cucharas y videntes, por ejemplo— que parecen estar igualmente bien confirmadas. Pero incluso en el caso de que un científico estuviera dispuesto a aceptar la existencia de milagros, no podría establecer una línea divisoria clara entre lo milagroso y lo que se conoce en la actualidad como paranormal. Existe un creciente interés en los fenómenos paranormales, desde el doblamiento de metales hasta la percepción extrasensorial. Muy pocos estudiosos de los fenómenos paranormales ven su disciplina ligada a connotaciones teológicas. Los fenómenos paranormales, incluidas las curaciones "milagrosas", se consideran como "milagros ateos". Las creencias primitivas y la histeria que acompaña muchas

incursiones en el campo de lo paranormal ayudan a degradar la religión. El suplemento dominical de un conocido periódico llegó a comparar en una ocasión a Jesucristo con Uri Geller. Desgraciadamente, muchos milagros que se han anunciado tienen un cierto regusto a truco de "music hall". Se cuenta, por ejemplo, que San José de Cupertino turbaba tanto a los otros monjes con su costumbre de flotar en el aire durante los oficios que finalmente ¡fue confinado en su celda cada vez que se celebraba misa!

Es interesante destacar que muchos de los símbolos de los supuestos acontecimientos religiosos sobrenaturales han resurgido en los cultos modernos alrededor de los OVNI. Considérense, por ejemplo, las historias de testigos que afirman haber sido curados de repente de alguna larga y penosa enfermedad después de haber entrado en contacto con los ocupantes de un platillo volante.

La levitación también juega un papel destacado. Se nos asegura que los fugaces platillos volantes que surcan serena y silenciosamente nuestros cielos a grandes velocidades están impulsados, no por vulgares cohetes o por la fuerza bruta de motores, sino por la neutralización de la gravedad terrestre. Algunas veces se ha visto a los propios cosmonautas flotando ingrávidos a ras de suelo.

Evidentemente, los fenómenos etéreos, la levitación y las curaciones milagrosas están profundamente enraizados en la psique humana. En la edad de la magia eran populares y se permitían abiertamente. Con el advenimiento de la religión organizada se refinaron y pasaron a un segundo plano, pero el fuerte elemento primitivo siempre ha estado cerca de la superficie. Con la decadencia de la religión organizada han vuelto a aflorar con un cierto barniz tecnológico, expresados en el lenguaje de las naves espaciales y la pseudo-ciencia, los campos de fuerzas misteriosos y la acción de la mente sobre la materia (una políglota síntesis de primitiva superstición y física de la era espacial).

Los milagros han constituido siempre las "candilejas" de la religión y han ocupado un lugar incómodo al lado de los otros supuestos fenómenos paranormales, muchos de los cuales, como el satanismo, parecen bastante indeseables. El creyente tiene la difícil doble misión de persuadir primero al escéptico de que los fenómenos ocurren realmente —lo cual es una desalentadora tarea, dada la dudosa naturaleza de la mayoría de los testigos— y a continuación debe convencerse a sí mismo de que los milagros están de alguna forma relacionados con Dios. Esto significa o bien aceptar que todos los sucesos sobrenaturales (incluso los desagradables) son obra de Dios, o bien establecer de alguna manera una clara distinción entre los milagros realizados por Dios y lo demás. En nuestra época, en que la percepción extrasensorial es tan familiar como la televisión, la mayoría de aquellos que están convencidos de la existencia de los milagros preferirán atribuirlos más a los poderes de la mente que al poder de Dios.

XV. EL FIN DEL UNIVERSO

«Sic transit gloria mundi.»

Si el Universo ha sido diseñado por Dios, entonces debe tener algún propósito. Si este propósito nunca se consigue, Dios habrá fracasado. Si se consigue, la continuación del Universo no será necesaria. El Universo, al menos en la forma que lo conocemos, habrá llegado a su fin.

Las religiones difieren notablemente en su concepción del momento y el modo en que llegará la muerte cósmica. Algunas nos advierten de catástrofes inminentes, de un mundo sorprendido por una destrucción apocalíptica donde el pecador será juzgado severamente. Otras hablan de un venidero Reino de los Cielos que reemplazará al duro e incierto mundo en que vivimos. Algunas religiones orientales se inclinan por un sistema cíclico, donde el fin de este mundo presagia el renacimiento de otro mundo similar.

¿Qué tiene que decir la ciencia moderna acerca del fin del Universo?

En el capítulo 2 se explicó cómo la segunda ley de termodinámica reduce inexorablemente la organización del Universo al caos. Dondequiera que miremos, en cada rincón del Cosmos, la entropía está aumentando irreversiblemente y el inmenso depósito de orden cósmico se agotará, tarde o temprano. El Universo parece destinado a continuar desmenuzándose hasta quedar finalmente detenido en un estado de equilibrio termodinámico y máximo desorden después del cual ya nada ocurrirá. Los físicos denominan a esta deprimente perspectiva "la muerte térmica"; este posible fin se ha venido discutiendo durante más de un siglo.

La segunda ley de la termodinámica es tan fundamental en toda la física que pocos físicos pondrían en duda su validez. Como vimos en el capítulo 9, la segunda ley es responsable de la asimetría temporal que está en la base de la distinción entre el pasado y el futuro. Violar la segunda ley equivale a invertir la flecha del tiempo.

Sin embargo, la segunda ley no nos dice nada sobre la naturaleza de las catástrofes cósmicas que conducirán al Universo hacia su estado final de máximo desorden. En los últimos treinta años, con el rápido desarrollo de la astronomía moderna se ha hecho posible afinar los detalles de los sucesos que destruirán irremisiblemente la compleja organización y elaborada actividad del mundo que nos rodea.

En lo que respecta a nuestra región local del Universo, el destino de la Tierra está íntimamente ligado al destino del Sol. La vida terrestre se alimenta de la luz del Sol y cualquier alteración en la estabilidad solar actual tendrá consecuencias desastrosas. No faltan ejemplos de posibles espasmos solares capaces de convertir la Tierra en inhabitable. Cualquier alteración en el constante suministro de calor podría afectar al delicado equilibrio climático de la Tierra y hundirnos en una catastrófica era glaciar. Las variaciones en los campos magnéticos del Sistema Solar provocados por el llamado viento solar (un flujo continuo de partículas provenientes de la superficie del Sol) podrían ocasionar cambios igualmente drásticos. La explosión de una estrella cercana podría bañarnos en una radiación letal y el paso de un agujero negro a través del Sistema Solar podría zarandear a los planetas fuera de sus órbitas.

Pero suponiendo que la Tierra escape a todas estas desagradables vicisitudes, está claro que las cosas no pueden continuar como ahora "por los siglos de los siglos". La fecunda emisión de energía por parte del Sol debe pagarse en combustible nuclear y, con el tiempo, estas reservas empezarán a escasear. Los astrofísicos estiman que esto no ocurrirá hasta dentro de unos cuatro o cinco mil millones de años, lo cual parece un período de tiempo inmenso. Sin embargo, teniendo en cuenta que la edad del Sol es ya de unos cuatro mil quinientos millones de años (la del Universo es de unos dieciocho mil millones de años), esta predicción sitúa al Sol como una estrella de mediana edad.

A medida que el combustible se consuma, el Sol irá aumentando de tamaño, convirtiéndose en un tipo de estrella que los astrónomos llaman gigante roja. El núcleo del Sol, esforzándose desesperadamente por mantener la producción de energía, se contraerá más y más hasta que los efectos cuánticos intervengan para estabilizarlo. Cuando esto ocurra, el Sol se habrá expandido tanto que los planetas interiores habrán sido engullidos, la atmósfera de la Tierra habrá sido arrancada y las rocas sólidas se habrán fundido e incluso vaporizado. A continuación el Sol se embarcará en una nueva y errática carrera en que la combustión nuclear del hidrógeno, tan abundante hoy, será reemplazada por la combustión menos eficiente del helio y, después, de elementos cada vez más pesados, del modo descrito en el capítulo 13.

Cuando al fin se agote todo el combustible, el Sol contendrá sólo elementos moderadamente pesados como el hierro. Ninguna fusión posterior de los núcleos repercutirá en una liberación de energía. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, todos los sistemas buscan su estado más estable, y el hierro es precisamente la forma nuclear más estable. En esta fase, la temperatura central del Sol habrá aumentado uniformemente hasta unos mil millones de grados. Ahora bien, cuando se haya consumido todo el combustible, la presión interna empezará a decaer y la gravedad tomará el mando. El debilitado Sol empezará a contraerse bajo su propio peso, aplastando el material en su interior tan violentamente que su densidad llegará a ser de un millón de gramos por centímetro cúbico. Este Sol comprimido y extinguido se verá reducido al tamaño de la Tierra y permanecerá inerte durante incontables miles de millones de años, marchitándose y enfriándose lentamente hasta acabar sus días como una enana negra, una estrella de materia densa que se desplaza por el espacio sin que pueda ser observada. El mismo esquema de inestabilidad, expansión, combustión desenfrenada y colapso se repetirá en toda nuestra

galaxia y en las demás. Una por una, las estrellas irán consumiendo su combustible nuclear hasta que no puedan sostener su propio peso contra la implacable fuerza de la gravedad.

Algunas estrellas morirán de una forma espectacular explotando como supernovas, haciéndose añicos a medida que sus núcleos implosionan de manera catastrófica liberando tremendas cantidades de energía. Los residuos dispersos remanentes de estas sobrecoge-doras explosiones se agruparán en torno de un fragmento de materia "ultraprensada" en la que el equivalente de una masa solar se encuentra comprimido en un volumen esférico de tan sólo unos cuantos kilómetros de diámetro. Tan intensa es la gravedad de un objeto de estas características, que una cucharita de té de esta materia pesaría más que todos los continentes de la Tierra juntos. Esta presión es tan fuerte que los átomos no pueden soportarla y quedan aplastados formando un mar de neutrones puros. A estas estrellas de neutrones las conocen bien los astrónomos, que las encuentran entre los residuos de pasadas explosiones de supernovas.

Las estrellas muertas más pesadas no son capaces de estabilizarse frente a la fuerza aplastante de la gravedad, ni tan sólo convirtiéndose en una bola de neutrones. Tales estrellas continúan comprimiéndose a un ritmo ascendente para finalizar sus días como agujeros negros.

El cosmólogo Edward Harrison describe esta lenta degeneración en los siguientes gráficos términos:

Las estrellas empiezan a perder luminosidad, como velas que se consumen y se van apagando una a una. En las profundidades del espacio las grandes ciudades celestiales, las galaxias, desordenadas por los acontecimientos de todas las épocas, van muriendo paulatinamente. Decenas de miles de millones de años transcurren en la creciente oscuridad. Ocasionalmente, llamas vacilantes de luz destacan sobre el fondo oscuro de la noche cósmica

y arrebatos de actividad retrasan la sentencia de un Universo condenado a convertirse en cementerio galáctico.

En la búsqueda del estado de mayor entropía, los sistemas físicos exploran algunos caminos peculiares. La organización de nuestra galaxia decaerá a medida que las estrellas se extingan inexorablemente. Para estrellas como el Sol, esto llevará varios miles de millones de años, tiempo durante el cual nuevas estrellas seguirán formándose a partir de los gases interestelares. Estrellas más pequeñas pueden tardar miles de veces más en morir. Con el tiempo, sin embargo, la energía ordenada atrapada en las estrellas se habrá esparcido de manera caótica por el Universo en forma de radiación y la galaxia empezará a oscurecerse y a enfriarse. Un destino similar sobrevendrá a las demás galaxias.

En lo que se refiere a las propias estrellas muertas, aún les queda una gran reserva de actividad posterior, pero la escala de tiempos aumenta en gran manera. A medida que los remanentes consumidos se arremolinen en la galaxia, se irán- produciendo colisiones ocasionales. Los agujeros negros tenderán a engullir cualquier estrella u otro material que se ponga a su alcance y, si como algunos astrónomos creen, existe un enorme agujero negro en el centro de nuestra galaxia, éste irá creciendo progresivamente. Las órbitas de las estrellas decaerán lentamente debido a la emisión de ondas gravitatorias (ondulaciones del espacio que hacen disminuir la energía orbital de todos los objetos masivos). Tras una inmensidad de tiempo, los remanentes estelares se habrán acercado cada vez más al centro galáctico y en un momento determinado serán sacrificados también al insaciable agujero monstruoso. Algunas estrellas muertas escaparán a este destino a consecuencia de encuentros fortuitos con otras estrellas, que las alejarán de la galaxia para errar en solitario en la inmensidad del espacio intergaláctico.

Para las estrellas que escapan y para cualquier gas o polvo que evite la muerte en el agujero negro, el respiro es solamente pasajero. Si la teoría de gran unificación es correcta, el material nuclear de que están hechos estos vagabundos cósmicos es inestable y se evaporará al cabo de unos 10^{32} años. Los neutrones y protones se desintegrarán en positrones y electrones, los cuales empezarán a aniquilarse mutuamente y con cualquier otro electrón. Así, toda la materia sólida se desintegrará. El resultado final de esta matanza depende de la velocidad con la que el Universo se esté expandiendo en la actualidad. Si las estimaciones que dan las velocidades más grandes son correctas, la expansión separará a los electrones y positrones más deprisa de lo que pueden acercarse entre sí, de modo que la aniquilación no será completa: siempre quedarán algunas partículas. Aquellas que se aniquilan producen rayos gamma, los cuales a su vez se debilitan lentamente con la expansión cósmica. Además, quedarán neutrinos y la radiación térmica sobrante del Big Bang. Todos estos componentes se enfriarán gradualmente hasta el cero absoluto, aunque a ritmos diferentes. La materia (electrones y positrones) se enfriará más deprisa que la radiación. Así, a pesar de que ambas se acercan al cero absoluto, siempre habrá una diferencia de temperaturas que puede, en principio, actuar como una fuente de energía libre (entropía negativa). Así, aunque la entropía de este exhausto Universo esté muy cerca de su valor máximo, nunca lo llegará a alcanzar. En consecuencia, la verdadera muerte térmica no se producirá jamás.

En cambio, si el Universo se expande más despacio, la aniquilación de los electrones y los positrones se verá más favorecida. Su destrucción mutua, no obstante, no será el resultado de simples colisiones al azar. Las fuerzas eléctricas atraen los electrones hacia los positrones permitiéndoles formar un "átomo" llamado positronio.

Según los cálculos, en un Universo en lenta expansión la mayoría de estas partículas (electrones y positrones) se habrán convertido en positronio después de 10^{71} años. Pero sin duda se trata de "átomos" muy particulares, ¡con un tamaño de billones de años luz! Las partículas giran una alrededor de la otra tan despacio que en un millón de años se mueven sólo un centímetro. El positronio es inestable y muy gradualmente estas inmensas órbitas se reducen, emitiendo fotones de muy baja energía. Con el tiempo, las partículas se van acercando hasta entrar en contacto, con lo que se aniquilan instantáneamente. Después de 10^{116} años la mayor parte del positronio habrá desaparecido. Durante la desintegración, cada "átomo" de positronio habrá emitido al menos 10^{22} fotones (un enorme incremento de entropía).

En lo que concierne a los agujeros negros, tampoco permanecen inertes. Los efectos cuánticos discutidos brevemente en el capítulo 13 implican que los agujeros no son estrictamente negros, sino que dejan escapar sordamente algo de radiación. Para un agujero negro de una masa solar, la temperatura es de una insignificante décima de billonésima de grado por encima del cero absoluto, y para agujeros de mayor tamaño es incluso menor. Mientras la temperatura de fondo del Universo se mantenga por encima de este valor, los agujeros negros continuarán creciendo muy lentamente por absorción térmica. Todavía tendrá lugar alguna actividad cuando colisionen con otros objetos u otros agujeros negros, y los que giran irán reduciendo gradualmente su rotación. Pero, con mucho, el cambio más drástico empezará a ocurrir cuando la temperatura del espacio sea inferior a la de los agujeros negros.

Un agujero negro que esté más caliente que su entorno tenderá a perder calor (y por tanto energía), con lo cual se contraerá. De este modo su temperatura aumentará ligeramente, acelerando la emisión. El agujero así iniciará una galopante evaporación. A lo largo de los eones, el ritmo de contracción irá aumentando hasta

que, quizá después de 10^{108} años, hasta los enormes agujeros negros de masas iniciales del orden de muchas masas galácticas serán reducidos a la nada.

Nadie sabe cómo un agujero negro muere finalmente. Parece probable que llegue a reducirse hasta dimensiones microscópicas, haciéndose tan caliente que empiece a crear materia. En este estadio sólo le quedan unos pocos miles de millones de años de vida. Con el tiempo, el agujero explotará, probablemente entre una lluvia de rayos gamma, no dejando ningún vestigio de su anterior existencia.
Estos estudios predicen un sombrío destino para el Universo que conocemos, tan lleno de esplendor y actividad. Si bien la inmensidad de los tiempos en juego está más allá de la imaginación humana (recuérdese que 10^{100} es un uno seguido de cien ceros), no parece haber ninguna duda de que todas las estructuras observadas actualmente están destinadas con el tiempo a desaparecer, dejando solamente un espacio frío, oscuro, expandido y casi vacío, poblado por unos pocos neutrinos y fotones cada vez más aislados y muy poco más. Es una perspectiva que muchos científicos encuentran profundamente deprimente.

Hay, sin embargo, otro destino posible. Las conclusiones anteriores dependían de la hipótesis de que el Universo continuaría expandiéndose eternamente. Pero esto no es seguro. Se sabe que el ritmo de expansión decrece uniformemente a medida que la gravedad restringe la dispersión de las galaxias. Así, algunos astrónomos creen que llegará un día que esta expansión se detendrá. Que esto suceda o no depende en realidad de la fuerza gravitacional del Universo, que, a su vez, depende de la densidad de lo que hay. Dado que hay objetos invisibles, como los neutrinos y los agujeros negros, así como energía que no se puede detectar, como las ondas gravitacionales, es casi imposible evaluar la densidad global.

Si la expansión llega a detenerse, el Universo no permanecerá estático sino que empezará a contraerse en un movimiento que es la

reflexión temporal de su fase de expansión. Al principio la contracción será muy lenta, pero transcurridos muchos miles de millones de años el ritmo se acelerará. Las galaxias que en la actualidad se alejan mutuamente empezarán a acercarse ganando velocidad. El escenario estará dispuesto para un cataclismo monstruoso.

Cuando el Universo se haya reducido a una centésima parte de su tamaño actual, la compresión habrá elevado la temperatura por encima del punto de ebullición del agua y la Tierra (suponiendo que hubiera sobrevivido a la muerte del Sol) se habrá hecho inhabitable. Un observador ya no será capaz de discernir galaxias individuales, puesto que éstas habrán empezado a fundirse unas con otras a medida que el espacio intergaláctico se haya ido reduciendo. Una posterior contracción aumentará la temperatura hasta que el mismo cielo empezará a brillar como un horno y las estrellas sumergidas en este luminoso espacio empezarán a hervir para luego explotar.

El ritmo de los acontecimientos en este punto se va acelerando, odas las estructuras se vaporizan y sus átomos se dispersan. En unos pocos centenares de miles de años (no más) los mismos núcleos son, a su vez, reducidos a pedazos debido a las cada vez madres temperaturas. Los sucesos se suceden ahora frenéticamente sin solución de continuidad. El Universo se va contrayendo apreciademente en minutos, después en segundos y finalmente en microsegundos, a medida que la gravedad acumulada convierte la contracción cósmica en una implosión incontrolada. Es el Big Crunch.

La impresionante naturaleza de estos sucesos inspiró al poeta forman Nicholson a escribir estos versos:

Y si el Universo cambiara de rumbo
y nos mostrara toda su riqueza;

si toda la luz fluyera hacia nosotros
y de los cielos cayera
una lluvia de galaxias,
el firmamento en la noche
resplandecería
más brillante que el Sol,
y los ojos del hombre quedarían cegados
por una blanca y ardiente oscuridad.

El Universo se encuentra a microsegundos de la muerte. El Big Crunch es como el Big Bang al revés. Las partículas nucleares se rompen en pedazos y durante un efímero y fugaz instante se crean todos los tipos de fragmentos subnucleares. Pero, en un abrir y cerrar de ojos, todo el Universo se hunde sobre sí mismo contrayéndose en un volumen menor que el de un átomo, después de o cual el mismo espacio-tiempo se desintegra.

Muchos físicos creen que el Big Crunch representa el fin del Universo físico. Del mismo modo que creen que el Universo (todo el espacio, el tiempo y la materia) surgió en una gran explosión, cambien creen que desaparecerá en una gran implosión. Esto significa una aniquilación total. No queda nada. Ni lugares, ni momentos, ni cosas. Hay una singularidad" final donde todo cuanto existe sucumbe bajo la infinita fuerza destructiva de la gravedad. Es el fin -a gravedad, la comadrona del Cosmos, es también su sepulturera.

Sin embargo, no todos los científicos están dispuestos a aceptar esta espectacular defunción del Universo. Algunos aducen que fuerzas físicas desconocidas detendrán el Big Crunch cuando alcance una cierta densidad fantástica, provocando en el Universo un efecto de "rebote" e iniciando otro ciclo de expansión y contracción seguido de uno y otro más, y así sucesivamente, ad infínitum. Este es el modelo del Universo oscilante que ya se

mencionó en el capítulo 12. Sólo con ayuda de futuras investigaciones en la física de energías ultraaltas será posible aclarar este tema.

Aunque la ciencia nos ofrece una variedad de teorías sobre el destino del Universo, todas contemplan su muerte tal como lo conocemos hoy. Hasta aquí coinciden con la escatología religiosa. Sin embargo, las escalas de tiempo involucradas son tan inimaginablemente inmensas que es imposible relacionar la muerte del Cosmos con las actividades humanas. Si hay criaturas conscientes en un futuro tan remoto que la época actual parezca indistinguible de la época de la creación, no serán sin duda seres humanos. Trillones de años de evolución y avance tecnológico se encargarán de ello.

En primer lugar, el desarrollo de la inteligencia "artificial" puede inducir al hombre a renunciar a su supremacía intelectual en favor de máquinas inteligentes. De hecho, esto ya está sucediendo en un sentido limitado. Con los océanos de tiempo que quedan por delante para la innovación, no parece haber ninguna razón por la que las máquinas no puedan alcanzar y sobrepasar en todo al cerebro humano. Y dado que no existe limitación de tamaño para tales máquinas, no es difícil concebir cerebros artificiales monstruosos con una capacidad intelectual totalmente más allá de lo actualmente imaginable. Además, la capacidad de las máquinas electrónicas para transferir información directamente entre sí, abre la puerta a la posibilidad de una integración de cerebros mecánicos. Se puede concebir una elaborada red de radiocomunicación a lo largo del Universo que conecte entre sí incontables cerebros sedentarios para componer un único impresionante supercerebro.

Los avances en la manipulación genética pueden dar un nuevo giro al tema de las máquinas inteligentes. Hasta ahora, el desarrollo de la inteligencia biológica ha estado a merced de las fuerzas evolutivas naturales, pero a medida que vayamos adquiriendo

control sobre las estructuras moleculares que determinan nuestras características físicas y mentales seremos capaces, posiblemente, de modificar los organismos ya existentes e incluso crear otros nuevos. Esto ya se está haciendo de un modo limitado mediante cruces genéticos y mutaciones inducidas. No parece haber ninguna razón fundamental para que no llegue un día en que se creen cerebros con la ayuda de la ingeniería molecular. La distinción entre inteligencia natural y artificial entonces desaparecerá. Estos cerebros superiores creados por el hombre serán organismos biológicos manipulados genéticamente o bien computadores avanzados con hardware orgánico en lugar de estado sólido. Es incluso posible imaginar una simbiosis entre ambos, ya sea en la forma de cerebros orgánicos que puedan "enchufarse" a circuitos de estado sólido o de futuros superchips que puedan implantarse en cerebros como una especie de dispositivos de refuerzo o "amplificación". Otra alternativa es que se utilicen componentes orgánicos en lugar de cristales semiconductores en máquinas inteligentes más convencionales. Desde luego, no estoy diciendo que ninguna de estas posibilidades se pueda realizar, ni tan sólo remotamente, en un futuro más o menos inmediato. Pero, ¿podemos honestamente creer que no serán realizables tras, por ejemplo, un millón de años de investigación científica, o un billón, o un trillón? La ciencia, téngase presente, sólo tiene un par de siglos de existencia.

Un tema relacionado con el futuro remoto del Universo y sus habitantes es la interesante cuestión de si existe algún límite en el grado de control que las criaturas inteligentes pueden ejercer sobre el mundo natural. El Universo que vemos ha sido configurado por las grandes fuerzas cósmicas, desde las poderosas interacciones nucleares hasta los efectos de largo alcance de la gravedad. Sin embargo, también vemos los rudimentos de un entorno artificial: cursos de ríos desviados y embalsados, bosques creados y destruidos, desiertos recuperados para la agricultura, canteras, etc..

Muy pocas regiones de la superficie de la Tierra dejan de mostrar algún rastro de las actividades del hombre. Podemos esperar que, con el avance de la tecnología y el conocimiento científico, nuestros descendientes alcancen un mayor control sobre mayores y más complejos sistemas físicos. Freeman Dyson ha concebido comunidades tecnológicamente avanzadas que modificarán drásticamente la estructura de sus sistemas planetarios creando una concha esférica de material alrededor de su estrella para atrapar y utilizar el máximo de energía disponible. Puede parecer que el nivel de tecnología requerido para desmantelar planetas pertenecerá siempre al reino de la fantasía, pero, en principio, tal aventura requiere ante todo dinero, tiempo y recursos.

Nos encontramos, por tanto, ante una perspectiva intrigante. Se puede afirmar con bastante seguridad que en un Universo con un tiempo virtualmente ilimitado por delante para el progreso tecnológico no se puede descartar de antemano ninguna cosa que sea consistente con las leyes de la física. Durante los últimos pocos miles de años, los seres humanos han progresado desde la tecnología de las herramientas manuales de unos pocos centímetros hasta los importantes proyectos de ingeniería (puentes, túneles, pantanos y ciudades) de muchos kilómetros de tamaño. Si extrapolamos esta tendencia, incluso a un ritmo descendente, llegará un momento en que toda la Tierra y más tarde el Sistema Solar y quizá las estrellas estarán "tecnologizadas". La misma galaxia podrá remodelarse artificialmente y las estrellas podrán ser desplazadas de sus órbitas, creadas a partir de nubes de gas o destruidas con inestabilidades provocadas. Los agujeros negros podrán formarse o controlarse a voluntad como fuentes de energía a disposición de las necesidades de la sociedad cósmica.

Y si es así con las galaxias, ¿por qué no con todo el Universo? Estas extrapolaciones deben ser rechazadas como absurdas, pero introducen un punto de vista filosófico importante: ¿Cuál es, si es

que hay alguna, la distinción entre natural y artificial, entre fuerzas ciegas y control inteligente? Éste es un nuevo aspecto de la controversia sobre el libre albedrío y el determinismo.

Cuando un sistema se encuentra sometido a control inteligente sigue satisfaciendo las leyes de la física. No hay pruebas (excepto quizá en el plano de la interacción mente-cuerpo) de que una construcción artificial viole ningún principio físico. Es cierto que una red de ferrocarriles o una central nuclear, por ejemplo, no aparecerán espontáneamente, pero su construcción todavía tiene lugar dentro del marco de las leyes de la naturaleza. Y el orden resultante así conseguido es compensado por el aumento vertiginoso de la entropía generado en los procesos de construcción. Como vimos en el capítulo 6, el funcionamiento del cerebro admite una descripción en términos de las leyes físicas en el plano del hardware y una descripción equivalente e igualmente consistente en términos de pensamientos, sensaciones, ideas, decisiones, etc., en el plano del software. Del mismo modo, decir que un sistema se ha "tecnologizado" no es negar la autoridad de una ley física, sino sólo servirse del lenguaje del software para 'describir su funcionamiento. No hay, pues, contradicción en un Universo que evoluciona de acuerdo con leyes de la física pero que, sin embargo, está sujeto a control inteligente.

Ésta es una conclusión que induce a reflexionar. Aquellos que invocan a Dios como una explicación de la organización cósmica, generalmente tienen en mente un agente sobrenatural que actúa sobre el mundo en abierto desafío a las leyes naturales. Sin embargo, es perfectamente posible que lo que encontramos en el Universo sea producto de una acción inteligente de tipo puramente natural, es decir, dentro de las leyes de la física. Por ejemplo, nuestra galaxia podría haber sido construida por una poderosa mente que hubiera reorganizado los gases primigenios usando cuerpos gravitantes cuidadosamente colocados, controlando las explosiones y todos los

demás objetos que conoce un astrofísico de nuestra era espacial. Ahora bien, ¿puede ser Dios una superinteligencia tal?

La pregunta no es trivial. Generalmente se concibe a Dios como creador de todo el Universo (incluyendo el espacio y el tiempo) y no meramente como un arquitecto galáctico. Claramente ningún ser que esté obligado a moverse dentro del Universo físico, sirviéndose únicamente de leyes preexistentes, puede ser considerado un creador universal. Supongamos que los poderes de este superastroingeniero se extendieran hasta incluir todas las galaxias. Imaginemos que pudiera curvar el espacio y el tiempo empleando la gravedad.

Tampoco en este caso sería Dios, a no ser que fuera capaz de crear o destruir el espacio y el tiempo. Pero la nueva física nos dice que con suficiente energía y recursos entra dentro del poder humano acumular el material gravitante necesario para hacer un agujero negro. En el centro del agujero negro, en la llamada singularidad, el espacio y el tiempo se destruyen. Así que incluso nosotros podríamos destruir espacio-tiempo.

Crear espacio-tiempo es más difícil. Pero, ¿podemos estar seguros de que es totalmente imposible, es decir, que está completamente prohibido por las leyes de la física? No podemos afirmarlo. En efecto, en el capítulo 3 describimos algunas teorías recientes sobre la creación de "burbujas" de espacio en el Big Bang. Además, ¿qué ocurriría si, contrariamente a lo que mantiene la popular teoría del Big Bang, el espacio y el tiempo fueran eternos? Si el espacio y el tiempo han existido siempre, no tiene sentido hablar de un Universo creado en el tiempo. En tal caso, la función de Dios en el Universo quedaría restringida a moldear y organizar la materia, lo cual podría lograrse enteramente mediante medios naturales (dejamos aquí de lado algunas complicaciones de tipo termodinámico).

De acuerdo con este punto de vista, Dios podría ser eterno, infinito y el ser más poderoso del Universo. No sería omnipotente porque no podría actuar fuera de las leyes de la naturaleza. Sería el creador de todo cuanto vemos, ya que habría creado la materia a partir de la energía preexistente, organizándola adecuadamente, disponiendo las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida y así sucesivamente. Pero no sería capaz de crear a partir de la nada (ex nihilo) como requiere la doctrina cristiana. A este ser le podemos llamar Dios natural, en lugar de sobrenatural.

¿Qué pruebas existen en favor de un Dios natural? ¿Son estas pruebas mejores o peores que las que disponemos en favor de un Dios sobrenatural?

Existen muchos misterios en el mundo natural que se explicarían rápidamente postulando una deidad natural. El origen de las galaxias, por ejemplo, no tiene explicación satisfactoria en el momento presente. El origen de la vida es otro rompecabezas enigmático. Sin embargo, podemos concebir que ambos sistemas hayan sido proyectados deliberadamente por un ser inteligente sin incurrir en ninguna violación de las leyes de la física. Sin embargo, tal explicación cae en la vieja trampa de atribuir a Dios cualquier cosa que esté fuera del alcance de la comprensión científica actual (el "Dios utilitario"). Los defensores de la religión saben por propia experiencia lo peligroso que es señalar un fenómeno y decir: "Esto es una prueba de la obra de Dios." Invocar a Dios como explicación general para lo inexplicable es convertir a Dios en amigo de la ignorancia. Si queremos hallar a Dios, debemos buscarlo a través de lo que descubrimos sobre el mundo y no a través de lo que no podemos descubrir.

De todos modos, un Dios natural es mucho más plausible que un Dios sobrenatural. La hipótesis de que un Dios natural creó la vida dentro del marco de las leyes de la física es al menos posible y consistente con nuestro conocimiento científico del mundo físico,

aunque sólo sea a causa de que la creación artificial de vida en el laboratorio es una clara (por bien que remota) posibilidad.
¿Cómo podemos ponderar la credibilidad de las dos explicaciones del origen de la vida (o de cualquier otro sistema altamente ordenado), a saber: si la vida es el producto de una manipulación inteligente aunque natural de un superser, quizás el ser supremo (Dios), o si la vida es el resultado final de procesos inconscientes autoorganizados (como la aparición de estructuras convectivas en la atmósfera de Júpiter)? Cada una de estas dos explicaciones tiene sus propias dificultades.

La respuesta a la pregunta anterior depende de hasta qué punto creamos que la mente juega un papel importante en el Universo. La mayor parte de la gente está dispuesta a aceptar las historias de ciencia ficción que hablan de un futuro remoto en el que regiones cada vez mayores de! Universo estarán sometidas a control inteligente. Podemos concebir que en los incontables trillones de años que se extienden delante de nosotros todo el universo observable esté tecnologizado. ¿Por qué, entonces, es tan difícil imaginar que tal superinteligencia haya existido antes que nosotros?

La respuesta convencional es que la inteligencia solamente aparece como el resultado final de una larga sucesión de cambios evolutivos que aumentan progresivamente el grado de organización de la materia. En resumen, primero es la materia y después la mente. Pero, ¿debe ser inevitablemente así? ¿No podría ser la mente el ente más primitivo?

Se cree cada vez más entre los científicos que ni la mente ni la vida están limitadas necesariamente a la materia orgánica. En un libro recientemente publicado, muy especulativo pero estimulante (La vida más allá de la Tierra), el físico Gerald Feinberg y el bioquímico Robert Shapiro pasan revista a las posibilidades de vida extra-terrestre. Dan razones en favor de la vida basada en plasmas, en energía de campos electromagnéticos, en dominios magnéticos

en estrellas de neutrones y en una variedad de extraños sistemas. Ahora bien, la conciencia y la inteligencia son conceptos de software; es la disposición (la organización) lo que cuenta y no el medio de su expresión. Llevando esta consideración hasta sus últimas consecuencias, es posible imaginar una supermente que haya existido desde el origen de la creación y que, abarcando todos los campos fundamentales de la naturaleza, haya tomado bajo su responsabilidad la tarea de convertir un Big Bang incoherente en el Cosmos complejo y ordenado que observamos; todo ello dentro del marco de las leyes de la física. No es un Dios que ha creado todas las cosas por medios sobrenaturales, sino una mente universal que se extiende por el Cosmos y lo controla directamente, sirviéndose de las leyes de la naturaleza para alcanzar algún propósito específico. Podríamos describir este estado de cosas diciendo que la naturaleza es un producto de su propia tecnología y que el Universo es una mente: un sistema auto-organizado que se observa a sí mismo.

Nuestras propias mentes podrían considerarse entonces como "islas" locales de conciencia en un mar de inteligencia. Es ésta una idea que presenta rasgos de la concepción oriental del misticismo según la cual Dios es la conciencia unificadora de todas las cosas, conciencia por la cual la mente humana será absorbida, perdiendo su identidad individual, cuando alcance un nivel apropiado de desarrollo espiritual.

Es posible ir más lejos. Recuérdese que, al menos según algunos físicos, la mente ocupa una posición especial en lo que respecta al factor cuántico. Si la mente puede "cargar los dados cuánticos", entonces una mente universal podría, en principio, controlar todo cuanto sucede dirigiendo el movimiento de cada electrón, de cada protón, de cada fotón, etc. Tal poder organizativo escaparía a nuestra atención cuando observamos la materia microscópica debido a que las cabriolas de cualquier partícula nos seguirían pareciendo completamente aleatorias. Es solamente en el

comportamiento colectivo de vastas colecciones de átomos donde la organización se hace aparente. Esta imagen de Dios seria suficiente para satisfacer a la mayoría de los creyentes.

Muchas religiones primitivas estaban basadas en un esquema politeísta en el que los dioses se clasificaban de acuerdo con sus poderes. Esta idea guarda cierta similitud con las especulaciones modernas sobre inteligencias extraterrestres. Algunos escritores han concebido una jerarquía de poder intelectual y tecnológico que abarca desde la humanidad en adelante. Se pueden concebir criaturas cuyas capacidades sean tan grandes que no podríamos distinguir sus actividades de la propia naturaleza. Esta jerarquía podría incluir un ser supremo. Tal ser verificaría muchos de los requisitos tradicionales que se atribuyen a Dios.

Si se nos convenciera de la existencia de esta mente (y ninguno de los argumentos científicamente posibles proporcionan ninguna prueba de que exista), ¿sería ella capaz de evitar el fin del Universo? Si el ser supremo está restringido a actuar dentro de las leyes de la física (aunque sean las leyes más flexibles que permite la mecánica cuántica), entonces la respuesta debe ser negativa. La segunda ley de la termodinámica no permite que ningún ser, por muy profundo que sea su conocimiento y por muy eficiente que sea su tecnología, detenga el aumento inexorable de entropía.

Podría suponerse que un ser capaz de manipular la materia en el plano atómico pudiera también ir "dando cuerda" al Universo devolviéndole la organización perdida. Ésta es, de hecho, una vieja idea investigada por Maxwell en el siglo pasado y a la que nos referimos como la paradoja del diablillo de Maxwell. Considérese una caja sellada separada en dos partes por una membrana en la que se ha dispuesto una trampilla. La caja se llena a ambos lados de la membrana con un gas a temperatura y presión uniformes. Encontrándose en equilibrio termodinámico, el sistema se halla en un estado de máxima entropía sin ninguna reserva de energía útil

para realizar trabajo. Nada de interés sucederá, a no ser la agitación aleatoria de las moléculas del gas.

Supongamos, sin embargo, que dentro de la caja hay un diminuto demonio capaz de accionar el mecanismo de la trampilla. Tal demonio se da cuenta de que los movimientos de las moléculas, a pesar de ser caóticos, abarcan un amplio abanico de direcciones y velocidades concretas. Algunas moléculas se mueven lentamente y otras rápidamente. La velocidad media es el factor que determina la temperatura del gas. Ésta no cambia. Sin embargo, las moléculas individuales modifican sus velocidades y direcciones cada vez que chocan con las moléculas vecinas o con las paredes del recipiente. El demonio entonces adopta la siguiente estrategia. Cuando se aproxima una molécula rápida desde la parte derecha del recipiente, abre la trampilla y le permite pasar a la cámara de la izquierda. Por el contrario, a las moléculas lentas que se aproximan por la otra parte les permite pasar a la cámara de la derecha. Al cabo de un cierto tiempo, la cámara de la izquierda estará llena de moléculas de movimiento rápido (por término medio), mientras que la cámara de la derecha estará llena de moléculas más lentas. La cámara de la izquierda, por lo tanto, se encontrará a una temperatura mayor que la de la derecha. El demonio, con una diestra y pronta manipulación de las moléculas individuales, habrá creado una diferencia de temperatura entre las dos cámaras. El equilibrio dejará de prevalecer y de esta forma la entropía se habrá reducido. Será ahora posible aprovechar la diferencia de temperaturas para llevar a cabo algún trabajo (por ejemplo, accionando un motor térmico) hasta que la energía útil se disipe de nuevo y el equilibrio se restablezca. Pero entonces el demonio podrá repetir su actuación, teniendo así a nuestra disposición la base de un móvil perpetuo. Aplicando esta estrategia en el plano cósmico, un demonio omnipresente podría evitar que el Universo alcanzara la muerte térmica.

Desgraciadamente, puede demostrarse que el diablillo de Maxwell no es teóricamente posible. En los años veinte, Leo Szilard estudió la paradoja con mayor detalle. Se dio cuenta de que, en definitiva, el demonio debía tener información exacta sobre la velocidad de las moléculas que se aproximaban a la trampilla. Sólo se puede disponer de esta información pagando un precio y el precio se paga en la moneda termodinámica de la entropía. Por ejemplo, toda molécula que se aproxima podría ser iluminada por un potente flujo de luz, usando el efecto Doppler para medir su velocidad del mismo modo que la policía usa radares para controlar la velocidad en las carreteras. Pero el gasto de energía útil producido por esta operación incrementaría la entropía del gas en una cantidad mayor que la perdida como resultado del efecto de clasificación de las moléculas. La segunda ley no puede ser derrotada ni por una manipulación inteligente en el plano molecular.

Si estas ideas termodinámicas son correctas, ningún agente natural, inteligente o no, puede posponer indefinidamente el fin del Universo. Como hemos visto, si el Universo continúa expandiéndose puede que nunca alcance el exacto equilibrio termodinámico. Sin embargo, la organización que percibimos en la actualidad está inevitablemente destinada a descender a un nivel en el que el Cosmos no mantendrá ningún parecido con el actual. Solamente un Dios sobrenatural podría darle cuerda de nuevo.

XVI. ¿ES EL UNIVERSO UN REGALO?

«Nada puede ser creado de la nada.»
LUCRECIO

Estamos ahora en condiciones de unir los cabos de nuestra investigación y escribir un relato cósmico que revele la asombrosa capacidad de la nueva física para explicar el mundo. No quiero afirmar que este relato deba ser tomado al pie de la letra (a pesar de que está siendo discutido seriamente por los físicos). Ilustra, sin embargo, el tipo de ideas que ha lanzado al aire la física moderna, ideas que no pueden ser ignoradas en nuestra búsqueda de Dios.

En la introducción planteé lo que llamaba las cuatro grandes preguntas fundamentales de la existencia: "¿Por qué son las leyes de la naturaleza éstas y no otras?" "¿Por qué el Universo está compuesto de las cosas que conocemos?" "¿Cómo surgieron estas cosas?" "¿Cómo logró el Universo alcanzar el grado presente de organización?"

La nueva física ha recorrido un largo camino en su intento de responder a estas preguntas. Vamos a considerarlas en orden inverso. Hemos visto cómo un estado inicialmente caótico puede evolucionar hacia un estado más ordenado a condición de que exista un suministro de entropía negativa. Hemos visto también cómo esta entropía negativa puede generarse gracias a la expansión del Universo, de modo que no existe ninguna necesidad de suponer —como lo hicieran los científicos de anteriores generaciones— que el Universo se creó, de alguna manera, en un estado altamente organizado y especialmente dispuesto. La organización actual es consistente con un Universo surgido accidentalmente en un estado aleatorio.

La cuestión del origen de las cosas físicas ha sido discutida en detalle en los primeros capítulos. Se sabe que los objetos tales como las estrellas y los planetas se formaron a partir de los gases primigenios, mientras que el propio material cósmico fue creado en el Big Bang. Recientes descubrimientos en la física de partículas han sugerido mecanismos mediante los que se puede explicar la creación de materia en el espacio vacío gracias al campo gravitatorio cósmico,

lo cual deja el origen del espacio-tiempo como el único misterio sin resolver. Pero hay también algunos indicios de que el espacio y el tiempo pueden haber surgido espontáneamente sin violar las leyes de la física. La razón de esta posibilidad se debe a la teoría cuántica.

Hemos visto cómo el factor cuántico permite que ocurran sucesos sin causa en el mundo subatómico. Las partículas, por ejemplo, pueden surgir de la nada sin ninguna causa específica. Cuando se extiende la teoría cuántica a la gravedad se abarca el propio comportamiento del espacio-tiempo. Aunque no existe todavía una teoría cuántica satisfactoria de la gravedad, los físicos tienen una buena idea de las líneas generales que una teoría tal debería seguir. Debería concederse al espacio y al tiempo la misma especie de borrosa imprevisibilidad que caracteriza a la materia cuántica. En particular, se debería permitir que el espacio-tiempo se creara y se destruyera espontáneamente sin ninguna causa, del mismo modo que lo hacen las partículas. La teoría debería dar una determinada probabilidad no nula a que, por ejemplo, apareciera una gota de espacio donde no lo hubiera habido antes. Así, el espacio y el tiempo podrían aparecer de la nada como resultado de una transición cuántica sin causa alguna.

En líneas generales, debe esperarse que la abrupta aparición del espacio-tiempo mediante un mecanismo cuántico ocurra solamente en una escala ultramicroscópica, debido a que los procesos quánticos se aplican únicamente a los fenómenos microscópicos. El espacio creado espontáneamente podría ser típicamente del orden de solamente unos 10~33 centímetros. Sin embargo, esta gota finita de espacio no debería tener bordes. Podría estar encerrada en una hiperesfera como la descrita en el capítulo 2. Es probable que este miniuniverso desapareciera rápidamente a causa de otra fluctuación cuántica inversa. Sin embargo, existe la posibilidad de que la gota de espacio recién creada empezara a hincharse súbitamente como un globo.

El origen de este comportamiento estaría asociado no con la gravedad sino con las restantes fuerzas de la naturaleza. En el capítulo 13 describí brevemente la llamada "hipótesis del Universo infraccionario", según la cual la "fuerza de gran unificación" convierte al naciente Universo en inestable y le hace emprender una fase de expansión exponencial desenfrenada. De esta forma el microcosmos cuántico podría hincharse hasta alcanzar proporciones cósmicas en una diminuta fracción de un segundo. La energía acumulada en esta explosión sería convertida en materia y radiación al final de la fase inflacionaria, después de la cual el Universo continuaría desarrollándose de acuerdo con nuestra idea convencional.

Según este original argumento, el Cosmos entero surge de la nada, en completo acuerdo con las leyes de la física cuántica, y crea sobre la marcha toda la materia y la energía necesarias para construir el Universo que vemos en la actualidad. Explica, por tanto, la creación de todas las cosas físicas, incluyendo el espacio y el tiempo. En lugar de postular una singularidad desconocida para poner en marcha al Universo (ver capítulo 2), el modelo del espacio-tiempo cuántico intenta explicar todas las cosas dentro del contexto de las leyes de la física. Se trata de una hipótesis impresionante. Estamos acostumbrados a la idea de "dar para recibir", pero la idea de obtener algo a cambio de nada (o a partir de nada) nos resulta extraña. Sin embargo, el mundo cuántico produce rutinariamente algo a cambio de nada. La teoría nos dice que gracias a la gravedad cuántica podríamos obtener todas las cosas a cambio de nada. Hablando sobre el tema, el físico Alan Guth señaló: «Se dice a menudo que "en el fondo nadie regala nada". El Universo, sin embargo, es un regalo genuino.»

¿Tiene este modelo de Universo alguna necesidad de Dios? En el capítulo 3 vimos que uno de los argumentos cosmológicos tradicionales en favor de la existencia de Dios partía de la hipótesis

de que todo suceso debe tener una causa. La física cuántica ha negado esta afirmación. Sin embargo, ¿qué podemos decir de las otras dos preguntas? ¿Por qué el Universo se rige por las leyes que conocemos y por qué está hecho de las cosas que vemos? ¿Puede la ciencia darnos una respuesta?

En el capítulo 11 vimos que el objetivo de la llamada teoría de la supergravedad es ofrecer una descripción matemática de todas las fuerzas de la naturaleza y de todas las partículas fundamentales. De lograrlo, esta teoría reduciría las dos preguntas restantes a una sola. Las "cosas" de que se compone el mundo (protones, neutrones, mesones, electrones y demás) se explicarían en el marco de la teoría de la supergravedad. En el momento actual, la situación de las leyes físicas es bastante distinta. Sabemos cómo se comporta un protón o un electrón, pero no tenemos ninguna idea de por qué existen estas partículas y no otras con propiedades claramente diferentes. Si la teoría de la supergravedad se confirma, no solamente nos dirá por qué existen las partículas que existen, sino también por qué tienen las masas, las cargas y otras propiedades que poseen.

Todo esto se podrá deducir de una extraordinaria teoría matemática que englobará toda la física (en el sentido reduccionista) en una sola ley. No obstante, todavía cabrá preguntarse: ¿Por qué precisamente esta superley?

Ésta es la pregunta definitiva sobre la existencia. La física puede quizá explicar el contenido, el origen y la organización del Universo físico, pero no las leyes o superleyes de la propia física. Tradicional-mente, se admite que Dios ha inventado las leyes de la naturaleza y ha creado las cosas (espacio-tiempo, átomos, etc.) a las que aquellas leyes se aplican. La hipótesis del "regalo" afirma que todo lo que necesitamos son las leyes (el Universo puede cuidar de sí mismo, incluyendo su propia creación).

Pero ¿qué podemos decir de las leyes? Deben estar "ahí' al comienzo para que el Universo pueda surgir. La física cuántica debe existir (en algún sentido) a fin de que una transición cuántica pueda generar el Cosmos. Muchos científicos creen que preguntarse por qué las leyes de la física son las que son no tiene ningún sentido, o al menos no es una pregunta que pueda responderse en términos científicos. Otros han razonado "antrópicamente", sosteniendo que las leyes deben ser tales que admitan observadores. Sin embargo, existe otra posibilidad más remota. Quizá las leyes (o la superley definitiva) emergerán de un único principio físico lógicamente posible. Vamos a tratar esta idea en el último capítulo.

XVII. LA NATURALEZA DESDE LA PERSPECTIVA DEL FÍSICO

«La naturaleza es simple y posee por tanto una gran belleza.»
RICHARD FEYNMAN

«Si obtenemos belleza simple, obtenemos casi lo mejor que Dios ha inventado.»
ELIZABETH BROWNING

En los capítulos anteriores hemos explorado las consecuencias que para la religión tienen los recientes avances de la ciencia, en particular de lo que se ha dado en llamar la nueva física. A pesar de los éxitos espectaculares de la ciencia moderna, sería insensato suponer que ha dado respuesta a las preguntas fundamentales sobre la existencia de Dios, el propósito del Universo o el papel de la humanidad en el esquema natural y sobrenatural. En efecto, los mismos científicos se distribuyen en un amplio abanico de creencias religiosas.

Se afirma a menudo que la ciencia y la religión pueden coexistir pacíficamente ya que dirigen su atención a diferentes campos. Las cuestiones de doctrina religiosa, como la moralidad o el concepto de trinidad, son intrínsecamente distintas de cuestiones científicas tales como, por ejemplo, decidir cuál es la mejor descripción matemática de la ley de la gravitación. Sin embargo, no se puede negar que la ciencia tiene algo que decir sobre asuntos religiosos. En temas tales como la naturaleza del tiempo, el origen de la vida y de la materia, o la causalidad y el determinismo, el propio marco conceptual en que se plantean las cuestiones religiosas se ve alterado por los avances científicos. Algunas de las principales preocupaciones teológicas de hace unos siglos (tales como la localización del Cielo y el Infierno) han perdido todo sentido gracias a la cosmología moderna y a nuestra mejor comprensión de la naturaleza del espacio y el tiempo.

Mucha gente se inclina a considerar el conflicto entre la ciencia y la religión en términos "verdadero o falso". Es tentador creer que existe una verdad última (una realidad objetiva) que tanto la ciencia como la religión están buscando. De acuerdo con esta razonable postura, las preguntas "¿existe Dios?", "¿hay milagros sobrenaturales?", "¿hubo una creación?", "¿hay algún plan en el Universo?" o "¿apareció la vida por puro accidente?", tienen como respuesta "sí" o "no", aunque no sepamos cuál.

Se dice a menudo que las teorías científicas son aproximaciones a la verdadera realidad. Al aumentar nuestros conocimientos, mejora el ajuste entre la teoría y la realidad. De acuerdo con esta perspectiva, las "verdaderas" leyes de la naturaleza están basadas en los datos experimentales de nuestras observaciones, obtenidas gracias a inspiradas y perseverantes investigaciones. Algún día, de acuerdo con esta filosofía, cabe esperar que lleguemos a descubrir las leyes correctas. En muchos aspectos, los esfuerzos encaminados a encontrar una teoría de la supergravedad están basados en esta idea. Los defensores de la supergravedad prevén el descubrimiento de un conjunto de ecuaciones que englobarán por completo las "verdaderas" leyes.

Sin embargo, no todos los físicos creen que se pueda hablar de la "verdad". La física, de acuerdo con esta filosofía alternativa, no se ocupa en absoluto de la verdad, sino de modelos: modelos que nos ayudan a relacionar una observación con otra de manera sistemática. Niels Bohr expresó este punto de vista llamado positivista cuando dijo que la física nos dice lo que podemos saber sobre el Universo y no cómo es. Como se explicó en el capítulo 8, la mecánica cuántica ha inducido a muchos físicos a declarar que no existe ninguna realidad "objetiva". La única realidad es la que se revela a través de nuestras observaciones. Por tanto, no es posible pronunciarse sobre si una teoría particular es "verdadera" o "falsa"; sólo podemos decir si es útil o es menos útil (una teoría es útil si relaciona una amplia gama de fenómenos en un solo esquema descriptivo con una alta precisión). Este punto de vista es diametralmente opuesto al de la religión, cuyos defensores creen en una verdad definitiva o última. Una proposición religiosa se considera comúnmente como verdadera o falsa, no como una especie de modelo de nuestras experiencias.

Las diferencias de planteamiento se ilustran por la disposición de los físicos a abandonar una querida teoría particular a favor de

otra mejor. Como escribió en una ocasión Robert Merton: «La mayoría de las instituciones exigen una fe incondicional, pero la ciencia convierte el escepticismo en virtud.» Al descubrir Einstein la teoría de la relatividad, se admitió que la teoría newtoniana del espacio, el tiempo y la mecánica era inadecuada para describir el comportamiento de los cuerpos que se mueven a velocidades próximas a la de la luz y, por tanto, fue reemplazada. La teoría de Newton no es realmente errónea, simplemente tiene un campo de validez limitado. La teoría especial de la relatividad es una teoría más útil (que se reduce a la teoría de Newton en el caso particular de bajas velocidades) porque da una descripción más precisa de los sistemas a altas velocidades. Esta teoría, a su vez, ha sido reemplazada por la llamada teoría general de la relatividad y pocos físicos ponen en duda que, a su debido tiempo, la teoría general será mejorada. Los físicos consideran que una teoría "final" o perfecta, incapaz de ser mejorada, es algo con tan poco sentido como la idea de un cuadro perfecto o una sinfonía perfecta.

La capacidad del método científico para acomodar los cambios resultantes de nuevos descubrimientos representa una de las grandes potencialidades de la ciencia. Basándose en el pragmatismo más que en la verdad, la ciencia se distingue agudamente de la religión. La religión está basada en el dogma y en la sabiduría revelada, que representa la verdad inmutable. A pesar de que, con el tiempo, algunos temas doctrinales marginales pueden ser adaptados y distorsionados, la idea del abandono de un dogma religioso fundamental en favor de un "modelo" más exacto de la realidad es algo inimaginable. Si la iglesia afirmara que, según nuevos descubrimientos, Cristo no había resucitado, la Cristiandad no podría sobrevivir. Algunos críticos han afirmado que la rigidez dogmática hace que cada nuevo descubrimiento y cada nueva idea sea una amenaza para la religión, mientras que los nuevos hechos y las nuevas ideas son la vida misma de la ciencia. Así es como los

descubrimientos científicos han enfrentado muchas veces la ciencia con la religión.

A pesar de que la religión mira hacia atrás, hacia la verdad revelada, mientras que la ciencia mira hacia adelante, hacia nuevas perspectivas y descubrimientos, ambas actividades producen un sentimiento de admiración y una curiosa mezcla de humildad y arrogancia en sus practicantes. Todos los grandes científicos están inspirados por la sutileza y la belleza del mundo natural que pretenden comprender. Cada nueva partícula subatómica, cada objeto astronómico inesperado, produce deleite y asombro. Los físicos, cuando construyen sus teorías, se dejan llevar frecuentemente por arcaicos conceptos de elegancia en su creencia de que el Universo es intrínsecamente bello. Una y otra vez este gusto artístico ha dado pruebas de ser un provechoso guía y ha conducido directamente a nuevos descubrimientos, aunque a primera vista pareciera contradecir los hechos observados.

Paul Dirac escribió en una ocasión:

Son más importantes unas ecuaciones bellas que unas que se ajusten a los datos experimentales... ya que las discrepancias pueden ser debidas a detalles secundarios que no se han tomado en cuenta propiamente y que serán esclarecidos en posteriores desarrollos de la teoría... Parece que si se trabaja con el fin de encontrar belleza en las ecuaciones y si realmente se tiene una idea con sentido, se está en el camino seguro del progreso.

Esta idea ha sido expresada sucintamente por Bohm: «La física es una forma de introspección y como tal es un arte.»

Einstein, a la vez que expresaba su desconfianza hacia la idea de un Dios personal, confesaba su admiración por la «belleza de... la lógica simplicidad del orden y la armonía que solamente podemos captar de forma humilde e imperfecta».

Los conceptos centrales de la noción de belleza del físico son la armonía, la simplicidad y la simetría. En palabras de Einstein:

Todas estas empresas están basadas en la creencia de que el mundo debe tener una estructura completamente armónica. Hoy en día tenemos más base que nunca para no dejarnos apartar de esta maravillosa creencia. Ecuaciones de tal complejidad como las del campo gravitatorio solamente pueden encontrarse a través del descubrimiento de una condición matemática lógicamente simple.

En tiempos más recientes este sentimiento ha encontrado eco en Wheeler:

La belleza de las leyes de la física se encuentra en la fantástica sencillez que adoptan... ¿Cuál es el mecanismo matemático definitivo detrás de todas ellas? Debe ser seguramente lo más hermoso que se pueda imaginar.

Hoy en día este principio fundamental ha estimulado la búsqueda de la superfuerza. En un repaso a los progresos en las matemáticas de la supergravedad, dos de sus más importantes representantes observaron recientemente: «En la derivación de todas las fuerzas a partir de un requisito común de simetría local se puede vislumbrar un orden profundamente satisfactorio.»

Cuando los físicos hablan de belleza y simetría, el lenguaje en que expresan estos conceptos es el de las matemáticas. Es imposible exagerar la importancia de las matemáticas para la ciencia en general y para la física en particular. Leonardo da Vinci escribió una vez: «Ninguna investigación humana puede ser llamada realmente ciencia si no puede ser demostrada matemáticamente.» Esto es probablemente más cierto en nuestros tiempos de lo que lo fue en el siglo XV.

El miedo neurótico a las matemáticas que experimenta la mayoría de la gente es en gran modo responsable de su alejamiento de la física. Es una barrera que, efectivamente, los separa de una completa apreciación de los progresos científicos y les impide disfrutar de amplias áreas de la naturaleza que han sido reveladas a través de la cuidadosa investigación. Como Roger Bacon apreciara: «Las matemáticas son la puerta y la llave de las ciencias... puesto que las cosas de este mundo no pueden ser conocidas sin un conocimiento de las matemáticas.»

Muchos físicos se han sentido tan profundamente impresionados por la simplicidad y elegancia de las leyes de la naturaleza, que sostienen que estas propiedades revelan una característica fundamental del mundo. Sir James Jeans señaló una vez que en su opinión «Dios es un matemático». Pero, ¿por qué decidiría Dios hacer efectivas sus ideas en forma matemática?

Las matemáticas son la poesía de la lógica. Ninguna expresión de una ley puede ser más fuerte o más satisfactoria que una que esté basada en sencillas e inexpugnables bases lógicas. En palabras de John Wheeler:

No debería asombrarnos, por tanto, si la descripción de la naturaleza nos lleva al final a la lógica, la fortaleza inexpugnable y etérea que constituye el corazón de las matemáticas. Si, como se cree, todas las matemáticas se reducen a las matemáticas de la lógica y toda la física se reduce a las matemáticas, ¿existe otra alternativa que no sea que la física se reduzca a las matemáticas de la lógica? La lógica es la única rama de las matemáticas que "puede pensar sobre sí misma".

Uno de los atractivos de la expresión lógica de la naturaleza es la posibilidad de que, al menos en su mayor parte, los principios que regulan el funcionamiento del mundo natural se puedan obtener mediante inferencias lógicas en lugar de datos empíricos. Antes de

la Segunda Guerra Mundial, Arthur Eddington y E. A. Milne intentaron construir teorías deductivas del Universo (sin demasiado éxito). La idea introduce una perspectiva fascinante. ¿Podría ser que el Universo es como es porque es una consecuencia inevitable de una necesidad lógica? El gran científico francés Jean d'Alembert escribió: «A quien pudiera captar el Universo desde un punto de vista unificado, la creación entera le parecería una verdad única y una necesidad.» Ésta es una idea que, de algún modo, hace tambalear el concepto de la omnipotencia divina. En efecto, en el capítulo 10 se señaló que un creador omnipotente podría imaginar cualquier Universo que deseara. Los cristianos afirman que este Universo particular fue elegido por Dios entre una gama infinita de alternativas, por razones que nos son desconocidas. Pero ni siquiera un Dios omnipotente podría violar las leyes de la lógica. Dios no puede hacer que 2 sea igual a 3 ni puede cuadrar el círculo. La hipótesis de que Dios pueda crear cualquier Universo debe ser matizada por la restricción de que tal Universo debe ser lógicamente consistente. Pero, si existe solamente un Universo lógicamente consistente, entonces Dios no tendría efectivamente ninguna elección. Einstein señaló: «Lo que me interesa saber en realidad es si Dios podía haber hecho el mundo de una manera diferente; esto es, si la necesidad de simplicidad lógica deja alguna libertad.»

Si hay realmente un solo tipo de creación posible, ¿por qué necesitamos un creador? La única función que se hubiera reservado sería la de "apretar el botón" para que funcionara. Pero esta función no requiere una mente (sería meramente un mecanismo de activación y, como vimos en el capítulo anterior, ni siquiera esto es necesario en el mundo de la física cuántica). ¿Quiere esto decir que la filosofía de una única solución física de la ecuación lógico-matemática fundamental del Universo niega la existencia de Dios? Por supuesto que no. Convierte en redundante la idea de un Dios creador, pero no elimina una mente universal que exista como parte

de este Universo físico único. Es decir, un Dios natural y no sobrenatural. Desde luego, "parte de" en este contexto no significa "localizada en algún lugar del espacio" más de lo que nuestras mentes puedan estar localizadas en el espacio. Ni quiere decir "hecha de átomos" más de lo que nuestra mente (a diferencia del cerebro) está hecha de átomos. El cerebro es el medio de expresión de la mente humana. De manera similar, el Universo físico entero podría ser el medio de expresión de la mente de un Dios natural. En este contexto, Dios es el concepto holístico supremo, quizá muchos niveles de descripción por encima del de la mente humana.

Si se aceptan estas ideas, se convierte en algo de importancia decisiva el origen y el destino del Universo físico. Dado que la mente necesita organización, su existencia está amenazada por la segunda ley de la termodinámica. Dado que el Universo está condenado a muerte lenta por su propia entropía, ¿morirá también Dios con él? La alternativa —un colapso gravitacional conducente a una singularidad y con ella a la total destrucción del Universo físico— parece incluso menos prometedora. Únicamente un Universo cíclico o de estado estacionario podría ofrecer posibilidades para la existencia de un Dios infinito y eterno.

Hasta ahora nuestra discusión de la concepción de la naturaleza por parte del físico se ha centrado en el enfoque reduccionista. El sentimiento de belleza y simplicidad que inspira al físico en su búsqueda de nuevas leyes y modelos se refiere en gran medida a las estructuras elementales que participan en la construcción del mundo: las partículas subatómicas como los quarks y leptones y las fuerzas fundamentales que actúan entre las mismas. Pero el aspecto holístico de Dios nos recuerda otra vez que por mucho que el físico comprenda cómo está hecho el mundo y cómo se ensambla, sus características holísticas escaparán a cualquier concepción reduccionista.

Richard Feynman lo expresó de esta forma:

A menudo estudiamos el mundo dividiéndolo en jerarquías o niveles. No voy ahora a dividir con toda precisión el mundo en niveles concretos, sólo indicaré por encima lo que entiendo por una jerarquía de ideas. En un extremo, por ejemplo, tenemos las leyes fundamentales de la física. Luego inventamos una serie de términos nuevos para referirnos a otros conceptos cuya explicación última, así lo creemos, se encuentra en las leyes fundamentales. Por ejemplo, "calor". Calor es movimiento, y hablar de un objeto caliente es hablar simplemente de una masa de átomos en movimiento. Sin embargo, en ocasiones hablamos de calor pero nos olvidamos de los átomos en movimiento (de la misma manera que cuando pensamos en un glaciar nos olvidamos a menudo de los cristales hexagonales de hielo y de los copos de nieve originales). Otro ejemplo lo constituye un cristal de sal. Considerado a un nivel fundamental no es más que un montón de protones, neutrones y electrones; sin embargo, poseemos el concepto "cristal de sal" que ya incluye todo un conjunto de interacciones fundamentales. Lo mismo ocurre con la idea de presión.

Si continuamos ascendiendo, nos encontramos, a otro nivel, con las propiedades de las sustancias (cómo "índice de refracción", que es un parámetro que indica cómo se desvía la luz cuando pasa a través de un cuerpo; o "tensión superficial", que es la tendencia que tienen las superficies líquidas a contraerse; términos, ambos, que se describen mediante números). Hay que bajar a través de algunas leyes para descubrir que la tensión superficial no es más que la atracción entre los átomos y así sucesivamente. Pero, de todos modos, continuamos hablando de "tensión superficial" y no siempre nos preocupamos, cuando nos referimos a ella, por su funcionamiento intrínseco.

También podemos ascender en la jerarquía. En el agua aparecen olas y con ellas algo llamado tormenta. La palabra "tormenta" representa una masa enorme de fenómenos. Del mismo modo, una "mancha solar" o una "estrella" son acumulaciones de

cosas. Y no siempre merece la pena interpretar estos términos en función de su estructura básica. De hecho, no es posible, porque cuanto más arriba estamos más pasos intermedios existen, cada uno de los cuales con sus propios puntos oscuros. No todos ellos están perfectamente comprendidos.

A medida que vamos ascendiendo en esta jerarquía de complejidad, nos encontramos con cosas, como contracciones musculares o impulsos nerviosos, que desde el punto de vista físico son terriblemente complicadas, en cuanto representan una organización extremadamente compleja de la materia. Después aparecen cosas como "rana".

Continuando por este camino llegamos a palabras y conceptos como "hombre", "historia", "razones de Estado", etc., una serie de conceptos que usamos para comprender cosas en niveles aún más elevados.

Y si continuamos nos encontramos con cosas como mal, belleza y esperanza...

Si se me permite usar una metáfora religiosa, ¿qué extremo está más próximo a Dios? ¿La belleza y la esperanza o las leyes fundamentales? Creo que la respuesta adecuada es, desde luego, que debemos fijarnos en la totalidad de las interconexiones estructurales; y que todas las ciencias —y no sólo las ciencias, sino todo tipo de esfuerzos intelectuales— son un intento de vislumbrar las conexiones entre las jerarquías, para conectar la belleza con la historia, la historia con la psicología humana, la psicología humana con el funcionamiento del cerebro, el cerebro con los impulsos nerviosos, los impulsos nerviosos con la química, y así sucesivamente, ascendiendo y descendiendo. En la actualidad no podemos (es absurdo intentar convencernos de lo contrario) trazar el camino exacto que va de un extremo a otro porque sólo recientemente hemos empezado a darnos cuenta de que existe esta

jerarquía relativa. Tampoco creo que ninguno de los extremos esté más cerca de Dios.

Como vimos en los capítulos anteriores, cada vez se da más importancia a la jerarquía estructural de la naturaleza. Conceptos holísticos tales como vida, organización y mente tienen, sin duda, sentido y no se pueden despachar como "nada más que" átomos o quarks o fuerzas unificadas o cosas por el estilo. Por importante que sea comprender la simplicidad fundamental subyacente a todos los fenómenos naturales, esto no es todo. La complejidad no es menos importante.

Uno de los mayores problemas que están por resolver en la física moderna es decidir si para comprender las características holísticas de un sistema físico se requieren leyes holísticas adicionales que no pueden ser reducidas a las leyes fundamentales de las fuerzas y las partículas elementales. Hasta ahora no tenemos ninguna muestra de leyes físicas verdaderamente holísticas. La termodinámica, por ejemplo, estudia sistemas holísticos como los gases, que constan de cantidades enormes de moléculas que actúan colectivamente. Conceptos como temperatura y presión no tienen ningún significado en el nivel de las moléculas elementales. Sin embargo, las leyes de los gases se obtienen aplicando estadísticamente las leyes del movimiento molecular a grandes colecciones de moléculas. Una ley completamente holística sería, por ejemplo, que en un nivel colectivo emergiera una nueva fuerza o influencia no debida a las partes componentes individuales. De este tipo era la hipótesis del vitalismo para explicar la vida.

Un ejemplo más llamativo de una ley holística de la física sería la psicocinesia o la telepatía. Los defensores de los fenómenos llamados paranormales afirman que la mente humana puede ejercer fuerzas a distancia sobre la materia. Estas fuerzas son desconocidas presumiblemente en el nivel reduccionista: no son nucleares ni gravitacionales ni electromagnéticas. La ilustración más directa de

estas fuerzas psíquicas está en los espectaculares casos de doblamiento de metales a distancia, donde un sujeto parece deformar un objeto metálico distante por medio de poder mental, sin ninguna clase de contacto físico. El autor ha concebido una prueba extremadamente rigurosa para verificar este fenómeno y que consiste en introducir barras metálicas dentro de recipientes herméticos de vidrio donde se ha reemplazado el aire por una combinación secreta de gases enrarecidos para imposibilitar cualquier tipo de amaño. En una prueba reciente donde participaron dobladores de metal, ninguno fue capaz de producir ninguna deformación mensurable.

En resumen, hemos dicho que quizá la estructura del mundo físico se deba en parte o en su totalidad a la aplicación de principios lógicos extremadamente simples expresados en forma matemática elemental. Una de las dificultades que se plantean al aceptar esta idea es el problema de la complejidad. ¿Podemos creer realmente que, por ejemplo, la vida y la mente se deben solamente a leyes lógicas y no a fuerzas holísticas?

Hay una magnífica ilustración de cómo producir estructuras complejas interesantes a partir de la aplicación de las leyes lógicas muy sencillas. El matemático de Cambridge John Conway inventó en el año 1970 un esquema conocido como el juego de la vida. Es un juego sencillo donde un solo jugador juega en un tablero dividido en muchos cuadros (celdas). Se colocan fichas en algunos de los cuadros y la configuración resultante de las fichas va evolucionando según un conjunto de reglas:

1. Cada ficha con dos o tres vecinas sobrevive a la siguiente generación (es decir, el siguiente movimiento).
2. Cada ficha con una o ninguna ficha vecina "muere" (de soledad) y cada ficha rodeada de cuatro o más vecinas muere (por falta de comida).

3. Cada celda vacía rodeada exactamente de tres celdas vecinas ocupadas da lugar al nacimiento de una nueva ficha.

Con estas simples reglas de nacimiento, supervivencia y muerte, Conway y sus colegas han descubierto la más sorprendente riqueza y variedad en la evolución de ciertas configuraciones de fichas. Dos de estas características son particularmente sorprendentes. La primera es que las formas sencillas pueden dar lugar a complejas estructuras. Considérese, por ejemplo, la "semilla" de la figura 25, que crece hasta convertirse en una flor y se marchita y muere dando lugar a cuatro "semillas" más pequeñas.
Todavía más notable es el descubrimiento de que ciertas formas mantienen cierta coherencia, dando muestras de una actividad reminiscente de un comportamiento. El ejemplo más sencillo es el "planeador" que conserva su forma y se mueve en diagonal a través del tablero (ver fig. 26). Grupos más numerosos conocidos como "naves espaciales" van dejando al moverse un rastro de "chispas". Sin embargo, "naves espaciales" mayores requieren una colección de "escoltas" más pequeñas para eliminar los residuos que la gran nave espacial expulsa hacia delante y que de otra manera bloquearían su recorrido causando su destrucción.

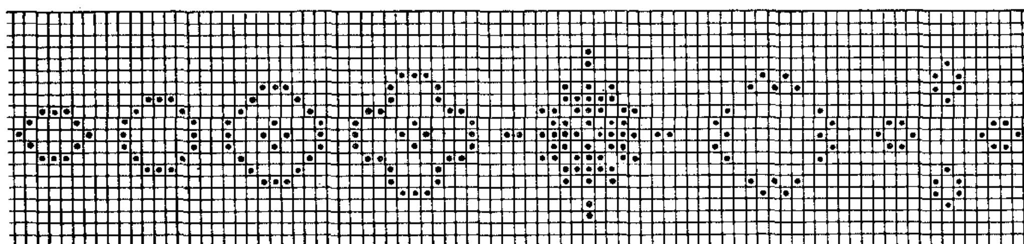


Fig. 25. En el juego de la vida de John Conway, la sucesión de estructuras de la figura evoluciona (hemos omitido algunos pasos intermedios). Las formas son reminiscentes del ciclo vital de una flor.

Con la ayuda de los computadores, el juego de Conway se puede usar para contrastar hipótesis sobre mecanismos autorreproductores y otros rompecabezas abstractos lógico-matemáticos. Para ello es preciso construir formas capaces de generar otras formas como si se tratara de una cadena de montaje. Un ejemplo de ello es un tipo de "planeador" que produce otro nuevo cada treinta movimientos. ¡Un aparato tal puede construirse con los residuos de trece colisiones! Disponiendo cuidadosamente los planeadores, se puede construir una fábrica que hace despegar una nave espacial cada 300 movimientos. Todo este "comportamiento" es automático.

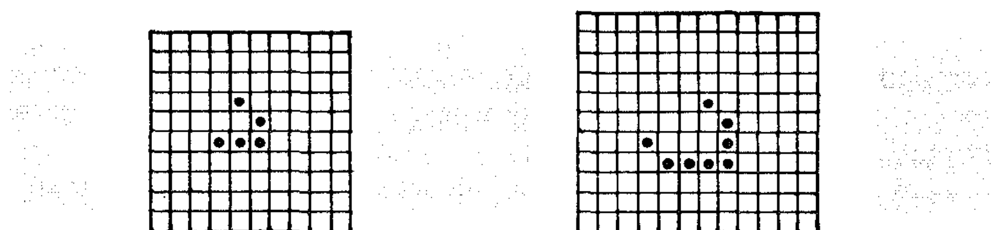


Fig. 26. La simple distribución de cinco puntos conocida como "planeador" tiene la curiosa propiedad de moverse diagonalmente por el tablero, pero permanece intacta. La colección de ocho puntos recibe el nombre de "nave espacial" y también viaja sin sufrir cambio alguno, si bien emite "chispas" a su paso.

Elegida la configuración inicial, el propio juego genera las estructuras y la actividad: no existe ninguna intervención humana. Todo se construye a partir de unas pocas reglas lógicas sencillas.

La física, en mi opinión, aporta su principal contribución a través del reduccionismo. Los aspectos holísticos pueden tratarse más apropiadamente en las ciencias cognoscitivas y en áreas como la teoría dé sistemas, la teoría de juegos, la sociología y la política. Esto no significa que la física no tenga nada que decir sobre el holismo. La termodinámica, la teoría cuántica y la física de los

sistemas autoorganizados presentan aspectos holísticos. Sin embargo, no creo que la física pueda ocuparse de temas tales como, por ejemplo, la voluntad o la moralidad.

Se me pregunta a menudo si el conocimiento que han adquirido los físicos acerca del funcionamiento interno de la naturaleza arroja alguna luz sobre el plan cósmico divino para el Universo. Se me pregunta también si este conocimiento revela, de alguna forma, la lucha entre el bien y el mal. No es así. No hay nada bueno ni malo en la forma en que los quarks se ensamblan en el interior de los neutrones y protones, ni lo hay en la emisión y absorción de los cuantos, ni en la curvatura del espacio-tiempo por la materia, ni en las simetrías abstractas que mantienen unidas las partículas elementales, etc. Es cierto que existe una fuerte competencia en la naturaleza, por ejemplo, entre el equilibrio y la interacción de las distintas fuerzas. Una estrella es el campo de batalla de fuerzas opuestas. La gravedad que trata de aplastar la estrella lucha contra las fuerzas de la presión de radiación que intentan hacerla explotar, fuerzas que a su vez proceden de la liberación de la energía producida en las reacciones nucleares. Esta lucha se mantiene a lo largo y ancho del Universo. Sin embargo, si las fuerzas opuestas no estuvieran más o menos equilibradas, todos los sistemas físicos se verían arrollados por una u otra y pronto cesaría toda actividad. El Universo es complejo e interesante precisamente gracias a que esta batalla continúa a lo largo de los eones.

Un cierto enigma se esconde bajo estos "dispositivos de retardo" aparentemente accidentales, como los llama Freeman Dyson:

El Universo se está deslizando en un viaje sin retorno hacia una muerte definitiva donde la energía estará degradada al máximo; ¿cómo se las compone para tardar tanto tiempo en morir?

Esta estabilidad fortuita gracias a la cual el Universo retrasa su descenso hacia el caos total es otro aspecto de las "coincidencias" descritas en el capítulo 13.

Está el retardo debido al tamaño, que evita el desplome súbito del Universo por efecto de su propia gravedad; el tiempo de caída libre hasta la gran implosión (si llega a producirse) es de varios miles de millones de años debido a la distribución sumamente espaciada de la materia cósmica. También está el retardo debido a la rotación, que evita que las galaxias y los sistemas planetarios se precipiten sobre sí mismos. La fuerza centrífuga equilibra la fuerza atractiva de la gravedad. Finalmente, están dispositivos de retardo nucleares, que se encargan de que el combustible nuclear de las estrellas se consuma lentamente, de modo muy gradual.

Estos mecanismos de retardo no pueden durar eternamente. Cuando dejan de actuar, frecuentemente irrumpe la violencia. El Universo está lleno de esta violenta actividad: observamos explosiones de estrellas en la fase final de su existencia, grandes erupciones de energía provenientes de quásares distantes, espeluznantes colisiones entre objetos monstruosos, materia aplastada hasta su desaparición en los agujeros negros. En definitiva, una violencia impresionante. Pero el físico no encuentra nada malo en esta violencia como tal. Mediante este torbellino de energía liberada, la naturaleza puede sembrar las semillas de una calma futura. Los elementos pesados que componen nuestro planeta fueron creados en el fuego de la explosión de una supernova hace muchísimo tiempo. El Universo entero nació en el fogonazo de una violencia ilimitada incomparable. Para el físico, los fenómenos violentos son simplemente una expresión particular de leyes naturales que son moralmente neutras. El bien y el mal son conceptos que tan sólo son aplicables a la mente y no a la materia.

En los capítulos anteriores nos hemos sumergido en el mundo de la física moderna (las nuevas ideas sobre el espacio y el tiempo, el

orden y el desorden, la mente y la materia) en nuestra búsqueda de Dios. La mayor parte de lo que se ha presentado confirmará sin ninguna duda la opinión de algunos de que la ciencia se encuentra implacablemente enfrentada a la religión y que continúa amenazando la base de las principales doctrinas religiosas. Sería insensato negar que muchas de las ideas religiosas tradicionales sobre Dios, el hombre y la naturaleza del Universo han sido barridas por la nueva física. Pero nuestra búsqueda ha desvelado también muchos rasgos positivos. La existencia de la mente, por ejemplo, como algo organizador, abstracto, holístico, capaz incluso de separarse del cuerpo refuta la doctrina reduccionista según la cual no somos otra cosa que montones de átomos en movimiento

No fue mi intención en este libro dar respuestas fáciles a las ancestrales cuestiones religiosas. Lo que he intentado hacer es ampliar el contexto en que discutir los temas religiosos tradicionales. Por otra parte, la nueva física ha conmocionado de tal forma las nociones familiares de espacio, tiempo y materia, que ningún pensador religioso serio puede ignorarla.

Entiendo que la ciencia ofrece un camino mas seguro que la religión para la búsqueda de Dios. Tengo la más profunda convicción de que solamente" comprendiendo el mundo en todos sus diverso aspectos (reduccionista y holístico, matemático y poético, a través de fuerzas, campos y partículas y también a través del bien y el mal podremos llegar a entendernos a nosotros mismos y a descubrir el sentido oculto de este Universo, nuestro hogar.



La nueva física ha revolucionado la ciencia, permitiendo a los científicos sondear los recintos más profundos del átomo y las fronteras del Universo. A raíz de estos avances trascendentales se han planteado una serie de preguntas de carácter religioso y filosófico, que desafían las creencias seculares sobre la naturaleza del Universo y sobre nuestro lugar dentro de él. ¿Cómo fue creado el Cosmos? ¿Dejará de existir? ¿Qué es la materia? ¿Cuál es su origen? ¿Qué son el tiempo y el espacio, y cómo se relacionan con Dios? ¿Qué es la mente? ¿Puede sobrevivirse a la muerte?
En este libro, el profesor Davies sostiene que muchas cuestiones religiosas pueden ahora encontrar una respuesta y propone un escenario nuevo e inspirador de un Universo cuántico creado de la nada. Este libro marca un hito importante en la literatura que se ocupa del largo debate entre la ciencia y la religión.

Paul Davies es profesor de matemáticas aplicadas en el King's College de Londres y catedrático de física teórica en la Universidad de Newcastle. Autor de artículos para publicaciones científicas y de libros como *El Universo desbocado, Superfuerza, La frontera del infinito, En busca de las ondas de gravitación* y *Otros mundos*, todos ellos en la colección Biblioteca Científica Salvat.

Dios y la nueva física

P. Davies

42





Dios y la nueva física

Paul Davies

Biblioteca Científica Salvat

Dios y la nueva física

Paul Davies

SALVAT

Versión española de la obra original inglesa *God and the new physics*, de Paul Davies

Traducción: Jordi Vilá
Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8922-2 (Volumen 42)
Depósito Legal: B-12585-1994
Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona
Impresa por Printer, i.g.s.a., Abril 1994
Printed in Spain

ÍNDICE

podría estar grabada en una cinta magnética, codificada en tarjetas perforadas o digitalizada por un computador. ¿Puede la mente sobrevivir a la muerte del cerebro siendo transferida a otro mecanismo o sistema? En principio, parece posible.

La mayoría de la gente, sin embargo, no cree en la supervivencia de su personalidad total; gran parte de nuestro carácter está ligado a nuestras necesidades y capacidades corporales. Por ejemplo, en ausencia de un cuerpo o de la necesidad de procreación, la sexualidad carece de sentido. Muchas personas tampoco desearían que sobrevivieran los aspectos negativos de su personalidad, los celos, la avaricia, el odio, etc. El núcleo perdurable de la mente debería despojarse de sus más obvias asociaciones corporales y características desagradables. Pero, ¿quedaría algo? ¿Qué quedaría de la identidad personal, del *yo*?

VII. EL YO

«Cada ser es una creación divina.»
SIR JOHN ECCLES

«Mi único pesar en la vida es no ser otra persona.»
WOODY ALLEN

¿Qué somos? Cada uno de nosotros tiene en su conciencia un profundo sentimiento de identidad personal. A medida que crecemos y nos desarrollamos, nuestros gustos y opiniones cambian, nuestra visión del mundo se modifica y aparecen nuevas emociones. Pese a todos estos cambios, nunca dudamos de que seamos la misma persona. Somos *nosotros* los que tenemos estas experiencias cambiantes. Las experiencias *nos* ocurren a *nosotros*. Pero, ¿qué es el "nosotros" que tiene estas experiencias? He aquí el ancestral misterio del yo.

Al pensar en otras personas las identificamos sobre todo con sus cuerpos y en menor grado con sus personalidades. Sin embargo, nos vemos a nosotros mismos de una manera muy distinta. Cuando alguien se refiere a su propio cuerpo lo hace en un sentido posesivo, como cuando dice "mi casa". En cuanto a la mente, no se la considera tanto una posesión como una *poseedora*. Mi mente no es un mueble: Es *yo* mismo.

Consideramos que la mente es, por tanto, un *propietario* de experiencias y sentimientos, el centro o foco de los pensamientos. Mis pensamientos y mis experiencias me pertenecen; los de los otros pertenecen a los demás. En palabras del filósofo escocés Thomas Reid:

la, por consiguiente, un espectro de colores con una serie de frecuencias discretas o líneas espectrales. El átomo de hidrógeno, constituido por un protón (el núcleo) y un electrón, es el átomo más simple. Sus niveles de energía vienen dados por una sencilla fórmula:

$$\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}$$

multiplicado por una unidad fija de energía, donde n y m son números enteros positivos (1, 2, 3...). Estas expresiones aritméticas tan compactas recuerdan las relaciones numéricas sencillas que describen los tonos musicales (los armónicos de la cuerda de una guitarra o del tubo de un órgano, por ejemplo). No se trata de una coincidencia. La disposición de los niveles de energía en un átomo es una consecuencia de las vibraciones de la onda cuántica, del mismo modo que las frecuencias del sonido de un instrumento musical son consecuencia de las vibraciones de las ondas sonoras.

Ahora bien, la armonía atómica no sería tan elegante si no fuera por el hecho que la fuerza que liga al electrón con el protón en el átomo de hidrógeno tiene también una expresión matemática sencilla. De hecho, la propia existencia de los átomos depende de ella. Esta atracción eléctrica satisface una famosa ley de la física conocida como la ley del inverso del cuadrado de la distancia. Quiere decir que si la separación entre el electrón y el protón se duplica, la fuerza se reduce una cuarta parte. Si se triplica, la fuerza se reduce una novena parte, etc. Es una nítida regularidad matemática que encontramos también en la fuerza de la gravedad: por ejemplo, en la atracción entre los planetas y el Sol. En este caso, la ley del inverso del cuadrado de la distancia da lugar a las famosas regularidades que se observan en el sistema solar, expresadas matemáticamente en las fórmulas que predicen los eclipses y otros fenómenos celestes. En el caso atómico, las regularidades son de naturaleza cuántica: la disposición de los niveles de energía y el espectro de frecuencias de la luz emitida. Sin embargo, ambas se derivan de la simplicidad de la ley del inverso del cuadrado de la distancia.

Tan pronto como se puso de manifiesto la estructura del núcleo, los físicos empezaron a preguntarse sobre las fuerzas nucleares que mantienen su cohesión. La gravedad es demasiado débil y las fuerzas eléctricas son repulsivas entre cargas del mismo signo. Se ignoraba cómo lograban evitar los protones, cada uno con su carga positiva, su repulsión mutua. Era evidente que debía existir una fuerza de atracción intensa que superase la repulsión eléctrica. Los experimentos revelaron que esta fuerza nuclear es mucho más intensa que la fuerza eléctrica, y que deja de actuar súbitamente más allá de una cierta distancia del protón. Este alcance es muy corto (menor que el tamaño del núcleo), de modo que sólo las partículas vecinas más próximas pueden encontrarse dentro del radio de acción de esta fuerza. Tanto los protones como los neutrones experimentan la fuerza nuclear. Dado que esta fuerza es tan intensa, se requieren grandes cantidades de energía para romper la mayoría de núcleos, pero puede hacerse. Los núcleos pesados son menos estables y pueden fisionarse (escindirse) fácilmente liberando energía (energía de fisión nuclear).

Las partículas nucleares se encuentran dispuestas también en niveles cuánticos de energía discretos, aunque aquí la simplicidad de la armonía atómica brilla por su ausencia. El núcleo es una estructura complicada, no solamente a causa de la multiplicidad de partículas, sino también debido a que la fuerza nuclear no es de la forma del inverso del cuadrado de la distancia.

Cuando, en los años treinta, los físicos empezaron a estudiar la fuerza nuclear en el contexto de la física cuántica, se hizo evidente que la naturaleza de la fuerza es inseparable de la estructura de las partículas. En la experiencia diaria pensamos en materia y fuerza como conceptos claramente diferenciados. Las fuerzas pueden actuar entre los cuerpos materiales a través de los efectos gravitatorios o electromagnéticos o directamente mediante el contacto físico, pero sólo se considera a la materia como la *fuente* de la fuerza y no como su agente de transmisión. Así, el Sol ejerce una acción gravitacional sobre la Tierra a través del espacio vacío y esto se puede describir en el lenguaje de los campos: el campo gravitacional del Sol, que es, por otro lado, invisible e intangible, interactúa con la Tierra y ejerce una fuerza sobre ella.

En el dominio subatómico, donde los efectos cuánticos son importantes, el lenguaje y el nivel de descripción empleados cambian profundamente. La característica fundamental de la mecánica cuántica es que la energía se transmite en paquetes discretos o cuantos, lo cual da nombre a la teoría. Así, por ejemplo, los fotones son cuantos del campo electromagnético. Cuando dos partículas eléctricas se aproximan, caen bajo la influencia de sus campos elec-

organizador, abstracto, holístico, capaz incluso de separarse del cuerpo, refuta la doctrina reduccionista según la cual no somos otra cosa que montones de átomos en movimiento.

No fue mi intención en este libro dar respuestas fáciles a las ancestrales cuestiones religiosas. Lo que he intentado hacer es ampliar el contexto en que discutir los temas religiosos tradicionales. Por otra parte, la nueva física ha conmocionado de tal forma las nociones familiares de espacio, tiempo y materia, que ningún pensador religioso serio puede ignorarla.

Entiendo que la ciencia ofrece un camino más seguro que la religión para la búsqueda de Dios. Tengo la más profunda convicción de que solamente comprendiendo el mundo en todos sus diversos aspectos (reduccionista y holístico, matemático y poético, a través de fuerzas, campos y partículas y también a través del bien y el mal) podremos llegar a entendernos a nosotros mismos y a descubrir el sentido oculto de este Universo, nuestro hogar.

BIBLIOTECA CIENTÍFICA SALVAT

1. **Stephen Hawking.** *Una vida para la ciencia.* Michael White y John Gribbin
2. **La verdadera historia de los dinosaurios.** Alan Charig
3. **La explosión demográfica.** *El principal problema ecológico.* Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich
4. **El monstruo subatómico.** *Una exploración de los misterios del Universo.* Isaac Asimov
5. **El gen egoísta.** *Las bases biológicas de nuestra conducta.* Richard Dawkins
6. **La evolución de la física.** Albert Einstein y Leopold Infeld
7. **El secreto del Universo.** *Y otros ensayos científicos.* Isaac Asimov
8. **Qué es la vida.** Joël de Rosnay
9. **Los tres primeros minutos del Universo.** Steven Weinberg
10. **Dormir y soñar.** *La mitad nocturna de nuestras vidas.* Dieter E. Zimmer
11. **El hombre mecánico.** *El futuro de la robótica y la inteligencia humana.* Hans Moravec
12. **La superconductividad.** *Historia y leyendas.* Sven Ortoli y Jean Klein
13. **Introducción a la ecología.** *De la biosfera a la antroposfera.* Josep Peñuelas
14. **Miscelánea matemática.** Martin Gardner
15. **El Universo desbocado.** *Del Big Bang a la catástrofe final.* Paul Davies
16. **Biotecnología.** *Una nueva revolución industrial.* Steve Prentis
17. **El telar mágico.** *El cerebro humano y la computadora.* Robert Jastrow
18. **A través de la ventana.** *Treinta años estudiando a los chimpancés.* Jane Goodall
19. **Einstein.** Banesh Hoffmann
20. **La doble hélice.** *Un relato autobiográfico sobre el descubrimiento del ADN.* James Watson
21. **Cien mil millones de soles.** *Estructura y evolución de las estrellas.* Rudolf Kippenhahn
22. **El planeta viviente.** *La adaptación de las especies a su medio.* David Attenborough
23. **Evolución humana.** Roger Lewin
24. **El divorcio entre las gaviotas.** *Lo que nos enseña el comportamiento de los animales.* William Jordan
25. **Lorenz.** Alec Nisbett
26. **Mensajeros del paraíso.** *Las endorfinas, drogas naturales del cerebro.* Charles F. Levinthal
27. **El Sol brilla luminoso.** Isaac Asimov
28. **Ecología humana.** *La posición del hombre en la naturaleza.* Bernard Campbell

29. **Sol, lunas y planetas.** Erhard Keppler
30. **Los secretos de una casa.** *El mundo oculto del hogar.* David Bodanis
31. **La cuarta dimensión.** *Hacia una geometría más real.* Rudy Rucker
32. **El segundo planeta.** *El problema del aumento de la población mundial.* U. Colombo y G. Turani
33. **La mente (I).** Anthony Smith
34. **La mente (II).** Anthony Smith
35. **Introducción a la química.** Hazel Rossotti
36. **El envejecimiento.** David P. Barash
37. **Edison.** Fritz Vögtle
38. **La inestable Tierra.** *Pasado, presente y futuro de las catástrofes naturales.* Basil Booth y Frank Fitch
39. **Gorilas en la niebla.** *13 años viviendo entre los gorilas.* Dian Fossey
40. **El espejo turbulento.** *Los enigmas del caos y el orden.* John Briggs y F. David Peat
41. **El momento de la creación.** *Del Big Bang hasta el Universo actual.* James S. Trefil
42. **Dios y la nueva física.** Paul Davies